

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA DO**  
**MEIO AMBIENTE - PPGEMA**

**ELZA GLAUCE DA SILVEIRA ALVES PEREIRA**

**CARACTERIZAÇÃO ÓTICA DE VIDROS E PELÍCULAS DE**  
**PROTEÇÃO SOLAR UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E**  
**SUA RELAÇÃO COM O CONFORTO AMBIENTAL**

Goiânia

2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ELZA GLAUCE DA SILVEIRA ALVES PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO ÓTICA DE VIDROS E PELÍCULAS DE  
PROTEÇÃO SOLAR UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E  
SUA RELAÇÃO COM O CONFORTO AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

**Área de concentração:** Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. Regis de Castro Ferreira

**Co-Orientador:** Prof. Dr. Orlando Ferreira Gomes

Goiânia

2007

**Pereira, Elza Glauce da Silveira Alves.**

**P436c** **Caracterização ótica de vidros e películas de proteção solar utilizados na construção civil e sua relação com o conforto ambiental / Elza Glauce da Silveira Alves Pereira. – Goiânia, 2007.**

**163f. : il., figs., tabs.**

**Orientador: Regis de Castro Ferreira, Co-Orientador: Orlando Ferreira Gomes.**

**Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2007.**

**Bibliografia: f.158-163.**

**Inclui listas de figuras, tabelas, abreviaturas e siglas e de símbolos.**

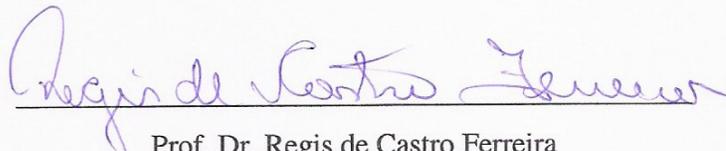
**1. Vidros 2. Energia solar – Películas de controle 3. Conforto térmico 4. Espectrofotometria 5. Ótica – Caracterização I. Ferreira, Regis de Castro II. Gomes, Orlando Ferreira III. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil IV. Título.**

**CDU: 691.624**

**ELZA GLAUCE DA SILVEIRA ALVES PEREIRA**

**CARACTERIZAÇÃO ÓTICA DE VIDROS E PELÍCULAS DE PROTEÇÃO SOLAR  
UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUA RELAÇÃO COM O CONFORTO  
AMBIENTAL**

Dissertação defendida e aprovada em 13 de março de 2007, pela Banca  
Examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Regis de Castro Ferreira

Presidente da Banca e Orientador / EEC-UFG



Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki

Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP



Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo

Escola de Engenharia Civil - UFG

## **Dedico**

Para Clóvis, meu esposo, que sempre me incentivou, apoiou e por seu amor em todos os momentos.

Para Frederico e Felipe, nossos filhos queridos, sempre prontos a nos ajudar a enfrentar todos os desafios.

Para Maria Custódia e Urbano, meus pais, pela educação e amor incondicionais.

## **Agradecimentos**

A Deus, luz que sempre ilumina, pela força, coragem e sabedoria, sem as quais, os desafios não podem ser superados.

Ao Prof. Dr. Regis de Castro Ferreira que além de orientador, um grande amigo, pela confiança e coragem para enfrentar desafios. Pelo incentivo, dedicação, conhecimento transmitido e pela boa vontade demonstrada em todos os momentos desta orientação.

À Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, pela oportunidade de realização deste curso.

A equipe do PPGEMA pelo atendimento gentil e carinhoso, em especial à professora Luiza e a Deuzélia empenhadas a ajudar a todos.

Ao corpo docente do PPGEMA, em especial aos professores Alfredo Ribeiro, André Geyer, Edgar Bacarji, Eduardo Siqueira, Enio Pazini, Eraldo H. de Carvalho, Lílian Rezende, Orlando F. Gomes, Rejane Tubino e Regis de Castro Ferreira pelos conhecimentos transmitidos e dedicação a arte de ensinar.

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio de Souza do Instituto de Química da UFG, pela disponibilidade em ensinar a técnica espectrofotométrica.

Ao Prof. Dr. Moacir Evandro Laje do Centro de Pesquisas em Alimentos da Escola de Veterinária da UFG pela disponibilidade em realizar os ensaios em sua unidade. Ao Rodrigo Almeida de Oliveira pelo auxílio durante os ensaios.

A Dra. Cléia Ferreira Duarte e ao Dr. José Eduardo França do Laboratório Nacional Agropecuário em Goiás do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento pela autorização e realização dos ensaios em seu laboratório. A Patrícia Duarte de Moraes pelo auxílio durante os ensaios experimentais.

A Quanta Junior Consultoria e Soluções do Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) pela realização dos ensaios de reflectância, ao Edy Kauan Silva Souza pelo auxílio na realização dos ensaios. Ao Frederico Silveira Pereira pelo empenho e contato na empresa. Ao prof. Dr. Eugênio Rodriguez do Laboratório de ablação a laser pelas orientações para a realização dos ensaios.

As empresas Temper Vidros, Vitral e VPM pelo fornecimento das amostras dos vidros. A ABGarfilm pela ajuda e fornecimento de informações.

Aos amigos do PPGEMA, em especial Rita Angélica C. Miranda, Fabíolla X. R. F. Lima, Deusair R. Santos, Viniciu F. Bárbara, Adriano da Paixão, Claudinei S. Nunes, Clodoveu R. Pereira, Fabrício Ribeiro, France S. Nascimento, Frederico Menezes, Giovana C. Elias, João L. M. P. Lopes, Osmar Mendes Ferreira, Paulo de T. F. Sales, Rogério G. Peres, Tânia M. C. Junqueira, Vera L. E. Oliveira e Wilson M. Silva pela amizade e companheirismo nos momentos de dificuldades.

Aos meus familiares, em especial aos meus irmãos Elto, Mariz e Rodrigo.

A CAPES pela concessão de bolsa para a realização deste trabalho.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente ajudaram na realização deste trabalho.

***Muito Obrigada!***

*“Embora ninguém possa voltar  
atrás e fazer um novo começo,  
qualquer um pode começar  
agora e fazer um novo fim.”*

***Francisco Cândido Xavier***

## RESUMO

A arquitetura moderna utiliza grandes superfícies de elementos transparentes nas fachadas apresentando, na maior parte das vezes, problemas de conforto térmico devido à incidência da radiação solar direta. A escolha inadequada promove descontrole da climatização e iluminação dos ambientes, pois permite a entrada da radiação solar e impede a saída de calor causando aquecimento dos ambientes internos, comprometendo a eficiência energética da edificação. Há, portanto, necessidade do conhecimento das propriedades espectrais dos vidros para tirar proveito dos benefícios das suas características óticas, buscando reduzir o período em que se faz necessário o resfriamento artificial dos edifícios. Neste trabalho avaliou-se o desempenho térmico de vidros (incolores, laminados e refletivos) e vidros com películas de proteção solar por meio da técnica espectrofotométrica. A espectrofotometria permitiu analisar experimentalmente as propriedades espectrais dos vidros e películas de proteção solar e forneceram as porcentagens de transmissão, reflexão e absorção do espectro solar. Posteriormente, foram calculados os parâmetros relacionados ao controle solar através de fachadas transparentes, tais como, a Razão Visível/Infravermelho, o Fator Solar, o Ganho de Calor Solar e o Coeficiente de Sombreamento das amostras estudadas. Por meio dos resultados obtidos, elaborou-se uma comparação do desempenho da transmissão da radiação solar. Dentre os produtos ensaiados, as películas refletivas e os vidros laminados tiveram melhor desempenho, bloquearam o ultravioleta e proporcionaram baixa transmissão nos espectros visível e infravermelho. Dada a grande quantidade de materiais transparentes disponíveis no mercado da construção civil com comportamentos óticos diversos, os resultados desta pesquisa mostram a pertinência de se conhecer as propriedades espectrais dos vidros e películas, para que se possa tomar decisões apropriadas na fase de projeto.

**Palavras-chave:** Vidros. Películas de controle solar. Conforto Térmico.

## **ABSTRACT**

Modern architecture uses large surfaces of transparent materials in façades presenting, in the majority of times, problems of thermal comfort due to the incidence of direct solar radiation. An unsuitable choice instigate in uncontrolled climate and lightning of the environments, as it allows solar radiation to get in and prevents heat from going out, thus, heating internal places and impairing the energetic efficiency of the building. Therefore, it is necessary to be familiar with the spectral properties of glass to take advantage of its optical characteristics, in order to reduce the period in that is done necessary the artificial cooling in buildings. This investigation evaluates the thermal performance of glasses (colorless, laminated and reflecting) and glasses with solar protection film through a spectrophotometric technique. This technique made it possible to analyze experimentally the spectral properties of glasses and solar protection films, providing the percentage of transmission, reflection and absorption of solar spectrum. After that, the parameters related to solar control through transparent façades, such as visible / infra-red Ratio, Solar Factor, Earnings of Solar Heating and the Coefficient of Shading of the samples studied were calculated. From the results, a comparison of the solar radiation transmission performance was developed. Among the products assayed, the reflecting films and the laminated glasses presented better results, blocking the ultraviolet rays and provided low transmission of visible and of infra-red spectrum. Due to the large number of transparent materials available in the market of civil engineering with varied optical effects, the results of this research demonstrate the importance of knowing the spectral specificities of glasses and films for appropriate choices in the project stage.

**Keywords:** Glasses; Solar control films; Thermal comfort.

## SUMÁRIO

	Página	
Lista de Figuras	12	
Lista de Tabelas	18	
Lista de Abreviaturas e Siglas	20	
Lista de Símbolos	22	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	24
1.2	OBJETIVOS	27
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>27</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>28</b>
2.1	CONFORTO AMBIENTAL	28
2.2	CONFORTO TÉRMICO	29
<b>2.2.1</b>	<b>Caracterização das variáveis de influência sobre o conforto térmico</b>	<b>29</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Índices de conforto térmico</b>	<b>32</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Variáveis do Clima</b>	<b>35</b>
2.2.3.1	Radiação solar	35
2.2.3.2	Componentes espectrais da radiação solar	36
2.2.3.3	Temperaturas	38
2.2.3.4	Umidade	41
2.2.3.5	Vento	41
<b>2.2.4</b>	<b>Variáveis que influenciam o desempenho térmico das edificações</b>	<b>42</b>
2.2.4.1	Ventilação	42
2.2.4.2	Proteção solar	43
2.2.4.3	Orientação da fachada	43
2.2.4.4	Influência da cor externa	43
2.2.4.5	Efeito térmico de janelas	44
2.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	45
<b>2.3.1</b>	<b>Principais causas da ineficiência energética das edificações</b>	<b>47</b>
2.4	PARÂMETROS RELACIONADOS AO CONTROLE SOLAR ATRAVÉS DE FACHADAS TRANSPARENTES	49

2.4.1	<b>Razão visível/infravermelho</b>	<b>50</b>
2.4.2	<b>Fator Solar (F.S.) ou Fator de Ganho de Calor Solar (F.G.C.S.)</b>	<b>51</b>
2.4.3	<b>Ganho de Calor Solar</b>	<b>54</b>
2.4.4	<b>Coefficiente de Sombreamento</b>	<b>54</b>
2.5	MATERIAIS TRANSPARENTES	55
2.5.1	<b>Vidro</b>	<b>55</b>
2.5.2	<b>Películas de proteção solar</b>	<b>61</b>
2.5.3	<b>Propriedades térmicas dos vidros e películas</b>	<b>63</b>
2.6	MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS DE ANÁLISE	65
2.6.1	<b>Princípio de funcionamento</b>	<b>65</b>
2.6.2	<b>Análise espectrofotométrica na caracterização de materiais para a construção civil</b>	<b>68</b>
3	<b>METODOLOGIA</b>	<b>70</b>
3.1	VIDROS	70
3.1.1	<b>Corte e preparação das amostras</b>	<b>70</b>
3.2	ANÁLISE ESPECTROFOTOMÉTRICA	75
3.2.1	<b>Parâmetros de Trabalho</b>	<b>77</b>
3.2.2	<b>Ensaio espectrofotométrico</b>	<b>78</b>
3.3	PARÂMETROS RELACIONADOS AO CONTROLE SOLAR ATRAVÉS DE FACHADAS TRANSPARENTES	79
3.3.1	<b>Coefficiente de absorção</b>	<b>79</b>
3.3.2	<b>Razão Visível/Infravermelho</b>	<b>79</b>
3.3.3	<b>Fator Solar</b>	<b>80</b>
3.3.4	<b>Ganho de calor solar</b>	<b>80</b>
3.3.5	<b>Coefficiente de Sombreamento</b>	<b>82</b>
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>83</b>
4.1	VIDRO INCOLOR	83
4.1.1	<b>Resultados experimentais</b>	<b>83</b>
4.1.2	<b>Análise dos resultados dos vidros incolores</b>	<b>84</b>
4.1.2.1	Transmissão	84
4.2	VIDROS LAMINADOS	85
4.2.1	<b>Resultados experimentais</b>	<b>85</b>
4.2.2	<b>Análise dos resultados dos vidros laminados</b>	<b>97</b>

4.2.2.1	Transmissão	97
4.2.2.2	Reflexão	98
4.2.2.3	Parâmetros de desempenho térmico dos vidros laminados	99
4.3	VIDROS REFLETIVOS MONOLÍTICOS	102
<b>4.3.1</b>	<b>Resultados experimentais</b>	<b>102</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Análise dos resultados dos vidros refletivos monolíticos</b>	<b>108</b>
4.3.2.1	Transmissão	108
4.3.2.2	Reflexão	108
4.3.2.3	Parâmetros de desempenho térmico dos vidros refletivos monolíticos	109
4.4	PELÍCULAS DE CONTROLE SOLAR (PRIVACIDADE)	110
<b>4.4.1</b>	<b>Resultados experimentais</b>	<b>110</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Análise dos resultados das películas de controle solar</b>	<b>117</b>
4.4.2.1	Transmissão	117
4.4.2.2	Reflexão	117
4.4.2.3	Parâmetros de desempenho térmico películas de controle solar	117
4.5	PELÍCULAS REFLETIVAS (CONFORTO)	120
<b>4.5.1</b>	<b>Resultados experimentais</b>	<b>120</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Análise dos resultados das películas refletivas</b>	<b>132</b>
4.5.2.1	Transmissão	132
4.5.2.2	Reflexão	132
4.5.2.3	Parâmetros de desempenho térmico das películas refletivas	132
4.5.2.4	Desempenho térmico de película refletiva e película de controle solar	138
4.6	CUSTO MÉDIO DOS MATERIAIS ESTUDADOS	139
4.7	ESPECIFICAÇÃO DE VIDROS X CONFORTO AMBIENTAL	139
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>156</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>158</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página	
Figura 1.1	Temperaturas máximas absolutas, médias máximas e mínimas da cidade de Goiânia.	26
Figura 1.2	Umidade Relativa Média do Ar (URM)	26
Figura 2.1	Carta bioclimática de Olgyay	33
Figura 2.2	Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV	34
Figura 2.3	Distribuição percentual da radiação solar incidente na atmosfera	35
Figura 2.4	Espectro Eletromagnético	36
Figura 2.5	Comportamento dos vidros diante da radiação solar	49
Figura 2.6	Exemplo da representação do coeficiente de sombreamento	55
Figura 2.7	Esquema de produção do vidro float	58
Figura 2.8	Esquema do vidro laminado	61
Figura 2.9	Composição básica das películas de privacidade	62
Figura 2.10	Composição básica das películas de conforto	63
Figura 2.11	Coefficiente de transmissão e reflexão em função do ângulo de incidência	64
Figura 2.12	Esquema de funcionamento de um espectrofotômetro	66
Figura 3.1	Dimensões das amostras preparadas para análise	71
Figura 3.2	Amostras dos vidros laminados	72
Figura 3.3	Amostras dos vidros refletivos monolíticos	73
Figura 3.4	Amostras das películas de controle solar (privacidade)	74
Figura 3.5	Amostras das películas refletivas (conforto)	75
Figura 3.6	Espectrofotômetro utilizado para ensaios de transmissão - espectro 290 a 1.100 nm	76
Figura 3.7	Espectrofotômetro utilizado para ensaios de transmissão - espectro 1.100 a 1.800 nm	77
Figura 3.8	Espectrofotômetro utilizado para ensaios de reflexão - espectro 290 a 1.800 nm	77
Figura 3.9	Curva de comparação de um vidro com transmissão espectral ideal para regiões de clima quente com o vidro incolor de 3 mm	79
Figura 4.1	Comportamento espectrofotométrico de transmissão dos vidros incolores de 3, 4 e 5 mm	84

Figura 4.2	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-01) – Vidro Laminado BS 108 Ouro (6 mm)	86
Figura 4.3	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-01) – Vidro Laminado BS 108 Ouro (6 mm)	86
Figura 4.4	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-02) – Vidro Laminado 114 VI Verde (6 mm)	87
Figura 4.5	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-02) – Vidro Laminado 114 VI Verde (6 mm)	87
Figura 4.6	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-03) – Vidro Laminado 114 AI Verde (7 mm)	88
Figura 4.7	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-03) – Vidro Laminado 114 AI Verde (7 mm)	88
Figura 4.8	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-04) – Vidro Laminado 114 PR Prata (8 mm)	89
Figura 4.9	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-04) – Vidro Laminado 114 PR Prata (8 mm)	89
Figura 4.10	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-05) – Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro (8 mm)	90
Figura 4.11	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-05) – Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro (8 mm)	90
Figura 4.12	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-06) – Vidro Laminado BS 120 Azul (8 mm)	91
Figura 4.13	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-06) – Vidro Laminado BS 120 Azul (8 mm)	91
Figura 4.14	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-07) – Vidro Laminado 120 VI Verde (8 mm)	92
Figura 4.15	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-07) – Vidro Laminado 120 VI Verde (8 mm)	92
Figura 4.16	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-08) – Vidro Laminado 130 VI Verde (6 mm)	93
Figura 4.17	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-08) – Vidro Laminado 130 VI Verde (6 mm)	93
Figura 4.18	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-09) – Vidro Laminado BS 130 Azul (8 mm)	94

Figura 4.19	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-09) – Vidro Laminado BS 130 Azul (8 mm)	94
Figura 4.20	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-10) – Vidro Laminado (ReflectaFloat) Verde (8 mm)	95
Figura 4.21	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-10) – Vidro Laminado (ReflectaFloat) Verde (8 mm)	95
Figura 4.22	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-11) – Antélio (VidroLaminado) Bronze (8 mm)	96
Figura 4.23	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-11) – Antélio (Vidro Laminado) Bronze (8 mm)	96
Figura 4.24	Comparação do comportamento espectrofotométrico de transmissão dos vidros LM-02 (VI Verde, 6 mm), LM-03 (AI Verde, 7 mm), LM-04 (Prata, 8 mm) e LM-05 (Prata Neutro, 8 mm) dos Vidros Laminados 114	100
Figura 4.25	Comparação do comportamento espectrofotométrico de transmissão dos vidros LM-06 (BS Azul, 8 mm) e LM-07 (VI Verde, 8 mm) dos Vidros Laminados 120	101
Figura 4.26	Comparação do comportamento espectrofotométrico de transmissão dos vidros LM-08 (VI Verde, 6 mm) e LM-09 (BS Azul, 8 mm) dos Vidros Laminados 130	101
Figura 4.27	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-01) – Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul (4 mm)	103
Figura 4.28	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-01) – Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul (4 mm)	103
Figura 4.29	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-02) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre (3 mm)	104
Figura 4.30	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-02) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre (3 mm)	104
Figura 4.31	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-03) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze (3 mm)	105
Figura 4.32	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-03) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze (3 mm)	105
Figura 4.33	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-04) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze (4 mm)	106
Figura 4.34	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-04) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze (4 mm)	106

Figura 4.35	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-05) – Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre (4 mm)	107
Figura 4.36	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-05) – Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre (4 mm)	107
Figura 4.37	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-01) – Película de Controle Solar G5 Azul – Intercontrol	111
Figura 4.38	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-01) – Película de Controle Solar G5 Azul – Intercontrol	111
Figura 4.39	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-02) – Película de Controle Solar G5 Fumê – Sun Tek	112
Figura 4.40	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-02) – Película de Controle Solar G5 Fumê – Sun Tek	112
Figura 4.41	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-03) – Película de Controle Solar G20 Azul – Intercontrol	113
Figura 4.42	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-03) – Película de Controle Solar G20 Azul – Intercontrol	113
Figura 4.43	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-04) – Película de Controle Solar G20 Fumê – Sun Tek	114
Figura 4.44	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-04) – Película de Controle Solar G20 Fumê – Sun Tek	114
Figura 4.45	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-05) – Película de Controle Solar G20 Fumê – Solar Gard	115
Figura 4.46	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-05) – Película de Controle Solar G20 Fumê – Solar Gard	115
Figura 4.47	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-06) – Película de Controle Solar G50 Azul – Intercontrol	116
Figura 4.48	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-06) – Película de Controle Solar G50 Azul – Intercontrol	116
Figura 4.49	Comparação de desempenho das Películas de Controle Solar G5 da Intercontrol e Sun Tek	119
Figura 4.50	Comparação de desempenho das Películas de Controle Solar G20 da Intercontrol, Sun Tek e Solar Gard	119
Figura 4.51	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-01) – Película Refletiva Fumê – Intercontrol	121

Figura 4.52	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-01) – Película Refletiva Fumê – Intercontrol	121
Figura 4.53	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-02) – Película Refletiva Fumê – Sun Control	122
Figura 4.54	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-02) – Película Refletiva Fumê – Sun Control	122
Figura 4.55	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-03) – Película Refletiva Prata – Intercontrol	123
Figura 4.56	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-03) – Película Refletiva Prata – Intercontrol	123
Figura 4.57	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-04) – Película Refletiva Prata – Sun Control	124
Figura 4.58	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-04) – Película Refletiva Prata – Sun Control	124
Figura 4.59	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-05) – Película Refletiva Prata – Solar Gard	125
Figura 4.60	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-05) – Película Refletiva Prata – Solar Gard	125
Figura 4.61	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-06) – Película Refletiva Bronze – Intercontrol	126
Figura 4.62	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-06) – Película Refletiva Bronze – Intercontrol	126
Figura 4.63	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-07) – Película Refletiva Bronze – Solar Gard	127
Figura 4.64	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-07) – Película Refletiva Bronze – Solar Gard	127
Figura 4.65	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-08) – Película Refletiva Azul Escuro – Intercontrol	128
Figura 4.66	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-08) – Película Refletiva Azul Escuro – Intercontrol	128
Figura 4.67	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-09) – Película Refletiva Azul – Intercontrol	129
Figura 4.68	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-09) – Película Refletiva Azul – Intercontrol	129

Figura 4.69	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-10) – Película Refletiva Verde – Intercontrol	130
Figura 4.70	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-10) – Película Refletiva Verde – Intercontrol	130
Figura 4.71	Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-11) – Película Refletiva Verde – Sun Control	131
Figura 4.72	Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-11) – Película Refletiva Verde – Sun Control	131
Figura 4.73	Comparação de desempenho de transmissão das Películas Refletivas Fumê da Intercontrol e Sun Control	134
Figura 4.74	Comparação de desempenho de reflexão das Películas Refletivas Fumê da Intercontrol e Sun Control	134
Figura 4.75	Comparação de desempenho de transmissão das Películas Refletivas Prata da Intercontrol, Sun Control e Solar Gard	135
Figura 4.76	Comparação de desempenho de reflexão de Películas Refletivas Prata da Intercontrol, Sun Control e Solar Gard	135
Figura 4.77	Comparação de desempenho de transmissão das Películas Refletivas Bronze da Intercontrol e Solar Gard	136
Figura 4.78	Comparação de desempenho de reflexão das Películas Refletivas Bronze da Intercontrol e Solar Gard	136
Figura 4.79	Comparação de desempenho de transmissão das Películas Refletivas Verde da Intercontrol e Sun Control	137
Figura 4.80	Comparação de desempenho de reflexão das Películas Refletivas Verde da Intercontrol e Sun Control	137
Figura 4.81	Comparação de desempenho de transmissão da Película Refletiva Fumê e da Película de Controle Solar G5 da Intercontrol	138
Figura 4.82	Transmissão no Visível para o total de amostras ensaiadas	141
Figura 4.83	Transmissão no Infravermelho para o total de amostras ensaiadas	143
Figura 4.84	Razão Visível/Infravermelho para o total de amostras ensaiadas	145
Figura 4.85	Transmissão Total para as amostras ensaiadas	147
Figura 4.86	Reflexão Total para as amostras ensaiadas	149
Figura 4.87	Absorção Total para as amostras ensaiadas	151
Figura 4.88	Ganho de Calor Solar para o total de amostras ensaiadas	153

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1.1 Grupos de Umidade adaptados para a realidade climática brasileira	26
Tabela 2.1 Direções e velocidades dos ventos dominantes na cidade de Goiânia, Goiás.	42
Tabela 2.2 Coeficiente superficial externo em função da velocidade do vento	52
Tabela 2.3 Valores de $N_i$ em função da velocidade do vento	53
Tabela 2.4 Composição do vidro float incolor	56
Tabela 2.5 Agentes químicos utilizados para dar cor aos vidros	57
Tabela 3.1 Vidros incolores	71
Tabela 3.2 Vidros laminados	72
Tabela 3.3 Vidros refletivos monolíticos	73
Tabela 3.4 Películas de controle solar (privacidade)	73
Tabela 3.5 Películas refletivas (conforto)	74
Tabela 3.6 Dados de Radiação Solar Incidente ( $I_g$ ) sobre planos Verticais e Horizontais ( $W/m^2$ ) para o solstício de verão – 22 de dezembro. Latitude 17° Sul	81
Tabela 3.7 Dados de Radiação Solar Incidente ( $I_g$ ) sobre planos Verticais e Horizontais ( $W/m^2$ ) para os equinócios – 22 de setembro e 22 de março. Latitude 17° Sul	81
Tabela 3.8 Dados de Radiação Solar Incidente ( $I_g$ ) sobre planos Verticais e Horizontais ( $W/m^2$ ) para o solstício de inverno – 21 de junho. Latitude 17° Sul	82
Tabela 4.1 Transmissão da radiação solar dos vidros incolores de 3, 4 e 5 mm	83
Tabela 4.2 Desempenho ótico dos vidros laminados	85
Tabela 4.3 Parâmetros de desempenho térmico dos vidros laminados para radiação solar incidente de $692 W/m^2$	99
Tabela 4.4 Desempenho ótico dos vidros refletivos monolíticos	102
Tabela 4.5 Parâmetro de desempenho térmico dos vidros refletivos monolíticos para radiação solar incidente de $692 W/m^2$	109
Tabela 4.6 Desempenho ótico das películas de controle solar	110
Tabela 4.7 Parâmetro de desempenho térmico das películas de controle solar para radiação solar incidente de $692 W/m^2$	118

Tabela 4.8	Desempenho ótico das películas refletivas	120
Tabela 4.9	Parâmetros de desempenho térmico das películas refletivas para radiação solar incidente de $692 \text{ W/m}^2$	133
Tabela 4.10	Custo médio dos materiais estudados	139
Tabela 4.11	Comparação de desempenho da Transmissão no Visível para o total de amostras ensaiadas.	140
Tabela 4.12	– Comparação de desempenho da Transmissão no Infravermelho para o total de amostras ensaiadas	142
Tabela 4.13	– Comparação de desempenho da Razão Visível/Infravermelho para o total de amostras ensaiadas	144
Tabela 4.14	– Comparação de desempenho da Transmissão Total para as amostras ensaiadas	146
Tabela 4.15	– Comparação de desempenho da Reflexão Total para as amostras ensaiadas	148
Tabela 4.16	– Comparação de desempenho da Absorção Total para as amostras ensaiadas	150
Tabela 4.17	– Comparação de desempenho do Ganho de Calor Solar para o total de amostras ensaiadas	152

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
°C	Grau Celsius
CEBRACE	Companhia Brasileira de Cristal
CGIEE	Comitê de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
clo	<i>clothing</i> - representa a resistência térmica da vestimenta utilizada (1 clo = 0,155 m <sup>2</sup> °C/W)
CPA	Centro de Pesquisas em Alimentos
CS	Coefficiente de Sombreamento
DOE-2	Programa desenvolvido pelo departamento de energia americano para analisar o consumo em edificações, disponibilizado gratuitamente
e	Espessura do material
FCS	Fator de Calor Solar
FS	Fator Solar
FS <sub>t</sub>	Fator Solar do vidro plano incolor de 3mm
FS <sub>ve</sub>	Fator Solar do componente transparente estudado
G.C.S.	Ganho de calor solar
GO	Goiás
I <sub>g</sub>	Intensidade da radiação solar incidente
kWh	O quilowatt-hora é o watt-hora precedido do prefixo quilo, que representa 1000
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IV	Infravermelho
LANAGRO	Laboratório Nacional Agropecuário em Goiás do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Máx.	Máximo
Mín.	Mínimo
MME	Ministério das Minas e Energia
MW	Megawatt (10 <sup>6</sup> W)
Ni	Termo adotado para referenciar a quantidade de energia absorvida e reirradiada para o interior
nm	Nanometro
PMV	Voto médio predito ( <i>predicted mean vote</i> )

PPD	Porcentagem estimada de insatisfeitos ( <i>predicted percentage of dissatisfied</i> )
PPGEMA	Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente
PROCEL	Programa nacional de conservação de energia elétrica
PVB	Películas de polivinil butiral
q	Ganho de calor solar através do vidro
$R_{se}$	Resistência superficial externa
$t_e$	Temperatura do ar externo
$t_i$	Temperatura do ar interno
W	Watt - unidade do sistema internacional para potência
Wh	Unidade utilizada para medição de energia elétrica. Um Wh é a quantidade de energia utilizada para alimentar uma carga com potência de 1 watt (W) pelo período de uma hora
U	Transmitância térmica do material em estudo
UFG	Universidade Federal de Goiás
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UV	Ultravioleta
VIS	Visível

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Absortância à radiação solar
$\rho$	Refletância à radiação solar
$\tau$	Transmitância à radiação solar
$\lambda$	Condutividade térmica
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Óxido de Alumínio (Alumina)
$\text{Au}^0$	Ouro
$\text{CaO}$	Óxido de Cálcio
$\text{CdS}$	Sufeto de Cadmo
$\text{CdSe}$	Selenito de Cadmo
$\text{CO}_2$	Dióxido de Carbono
$\text{Co}^{2+}$	Cobalto (II)
$\text{Co}^{3+}$	Cobalto (III)
$\text{Co}_3\text{O}_4$	Óxido de Cobalto
$\text{Cr}^{3+}$	Cromo (III)
$\text{Cr}^{6+}$	Cromo (VI)
$\text{Cu}^{2+}$	Cobre (II)
$\text{Fe}^{2+}$	Ferro (II)
$\text{Fe}^{3+}$	Ferro (III)
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Óxido de ferro
$\text{K}_2\text{O}$	Óxido de Potássio
$\text{MgO}$	Óxido de Magnésio
$\text{Mn}^{2+}$	Manganês (II)
$\text{Mn}^{3+}$	Manganês (III)
$\text{Mn}^{4+}$	Manganês (IV)
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Sódio
$\text{Na}_2\text{O}$	Óxido se Sódio
$\text{Ni}^{2+}$	Níquel (II)
$\text{Nd}^{3+}$	Neodímio (III)
$\text{Pr}^{3+}$	Praseodímio (III)
$\text{Se}$	Selênio
$\text{SiO}_2$	Sílica
$\text{Ti}^{3+}$	Titânio
$\text{V}^{3+}$	Vanádio (III)
$\text{V}^{4+}$	Vanádio (IV)

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das características da arquitetura moderna é a utilização de grandes fachadas envidraçadas independentemente da tipologia climática local. A fachada composta por materiais transparentes traz apelo estético imposto pelos padrões internacionais como símbolo de beleza e requinte.

Na maioria das vezes, esse uso em regiões de clima quente causa sobrecarga de energia nas edificações devido ao ganho excessivo de carga térmica decorrente da incidência da radiação solar. Desse aquecimento duas conseqüências são imediatas: o desconforto dos usuários e a intensificação do consumo de energia elétrica para o condicionamento artificial do ambiente.

A identificação de tais problemas gerou a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias de produção de vidros especiais e películas de proteção solar, que buscam o componente perfeito: alta transmissão luminosa; baixa transmissão de calor (infravermelho) e baixa transmissão de ultravioleta, cujo objetivo é buscar a melhoria da eficiência energética e conforto (ALUCCI, 2005). Nas últimas décadas, a fabricação dos produtos de vedações transparentes para utilização em aberturas teve um grande avanço tecnológico, procurando colocar no mercado produtos que atendessem as novas exigências do mercado consumidor (SANTOS, 2004). Esse avanço aumentou a quantidade de alternativas disponíveis e a responsabilidade do profissional encarregado de especificar esses materiais.

O ponto de partida para a especificação de um elemento transparente para uma edificação está no levantamento das necessidades de cada projeto em relação aos níveis desejados de conforto térmico e visual. As superfícies transparentes merecem especial atenção quando se trata do conforto térmico de edificações, pois são elementos vulneráveis a um ganho de calor, principalmente em locais de grande insolação, como é o caso do município de Goiânia-GO. A eficiência energética de um edifício pode ser maior ou menor, em função do projeto considerar as variáveis climáticas envolvidas, assim como a prática operacional e a manutenção dos dispositivos de controle energético, a proteção que se dará à transparência em função da orientação da fachada assim como a área de superfície envidraçada.

Quando se fala em eficiência energética de uma edificação, a busca do conforto térmico é o fator que gera maior demanda do consumo energético e o vidro é o elemento

construtivo responsável pelos maiores índices de transmissão de energia solar. A proposta deste trabalho foi de estudar as características óticas dos vidros e películas de proteção solar disponíveis no mercado do município de Goiânia-GO, usados na construção civil, e fornecer subsídios e indicativos para o seu apropriado emprego quando se fizer necessária sua especificação.

Foram analisados vidros laminados, vidros refletivos metalizados a vácuo e a aplicação de películas de proteção solar e películas refletivas em vidros planos. A técnica utilizada foi a análise espectrofotométrica, que é um método que fornece não apenas a transmissão, mas também as porcentagens de reflexão ao longo do espectro, permitindo escolher a região de interesse de trabalho.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A conservação da energia elétrica leva à exploração racional dos recursos naturais. Significa que, conservar energia elétrica ou combater seu desperdício é a fonte de produção mais barata e mais limpa que existe, pois não agride o meio ambiente. Conservar energia elétrica quer dizer melhorar a maneira de utilizar a energia, sem abrir mão do conforto e das vantagens que ela proporciona. Significa diminuir o consumo, reduzindo custos, sem perder, em momento algum, a eficiência e a qualidade dos serviços. Desta forma, a energia conservada, por exemplo, na iluminação eficiente ou em um sistema de condicionamento bem dimensionado, pode ser utilizada em outro segmento sem ser desperdiçada.

Com o surgimento e desenvolvimento da indústria energética no final do século dezenove teve início uma significativa alteração das técnicas de projeto e construção das edificações, da postura frente à problemática da adaptação climática. Padrões arquitetônicos foram drasticamente alterados pela possibilidade do uso de energia elétrica para a climatização e iluminação (SHALDERS, 2003).

Muitas edificações são projetadas principalmente em função de tendências estéticas ou exigências técnicas de produção, sem a preocupação em adequar o ambiente às características e limitações do homem. Esse é um problema especialmente relevante nos ambientes de trabalho em que condições operacionais expõem trabalhadores a diferentes graus de desconforto térmico, o que afeta a sua eficiência e produtividade (SILVA, 2001).

Atualmente, observa-se a construção freqüente de edifícios com grandes áreas envidraçadas, com fachadas desprotegidas que recebem enormes cargas térmicas devido a incidência direta da radiação solar. Estes edifícios são atualmente o padrão usual proposto pela arquitetura internacional e adotado regularmente no Brasil, com aplicações também no município de Goiânia, fruto de uma importação de conceitos que foram desenvolvidos em países com climas muito diferentes, que gera um consumo excessivo de energia para refrigeração e condicionamento do ar. Segundo o PROCEL (2005), cerca de 20% da produção nacional de energia elétrica é utilizada em edifícios comerciais e públicos e 29% em residências. Alguns trabalhos apontam o alto consumo de energia elétrica em condicionamento de ar no Brasil, mostrando que esse consumo é da ordem de 20% do total, e que em edifícios envidraçados pode chegar a 70% durante o verão (LOMARDO, 1988 apud LAMBERTS et al. 2004).

Algumas variáveis de projeto, tais como a orientação geográfica e as características óticas dos materiais especificados (vidros) podem implicar significativo acúmulo de densidade de energia no interior das edificações, traduzindo-se em desconforto térmico e/ou visual para os usuários. Considerado como elemento crítico por muitos pesquisadores (JORGE, 1996; FERNANDES, 2002a; KONTOLEON; BIKAS, 2002; FERNANDES, 2003; LAMBERTS et al., 2004; GHISI et al., 2005), as aberturas com seus fechamentos transparentes contribuem para as trocas de energia entre o meio externo e interno da edificação. O ganho de calor ocorre por vários mecanismos: radiação direta, difusa e emitida pelo entorno.

A cidade de Goiânia situa-se geograficamente na latitude 16° 40' sul e na longitude 49° 17' oeste. O clima de Goiânia é composto de duas estações definidas, pode-se classificá-lo em estação das chuvas e estação da seca (FERNANDES, 2002b). Implica num regime pluviométrico muito bem definido apresentando uma estação chuvosa (tendo cinco meses com precipitação acima dos 200 mm mensais) e uma estação seca. Apresenta duas características significativas: a continentalidade, pois está muito afastada do litoral atlântico; e a grande regularidade do processo cíclico dos deslocamentos das massas de ar. Apresenta temperaturas médias elevadas, e as temperaturas máximas absolutas ficam com valores acima de 32°C. A temperatura e a umidade média anual são de 23,2°C e 66,0%, respectivamente (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1992). Os limites de conforto proposto por Mahoney são avaliados em função da temperatura média anual (TMA) com a umidade relativa média do ar (URM). Harris (1999) apud Sena (2004) propôs dois grupos de umidade adaptados a partir da metodologia proposta por Mahoney, para a realidade climática do Brasil. Os limites de conforto térmico para dia e para noite são apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Grupos de Umidade adaptados para a realidade climática brasileira.

URM (%)	TMA > 20° C		15° ≤ TMA ≤ 20° C		TMA < 15° C	
	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
≤ 70%	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
> 70%	22-27	17-22	20-25	14-20	18-24	12-18

Fonte: Harris (1999) apud Sena (2004).

A Figura 1.1 apresenta as temperaturas máximas absolutas e as temperaturas médias máximas e mínimas e a Figura 1.2 traz a umidade relativa média das Normais Climatológicas para a cidade de Goiânia (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1992).

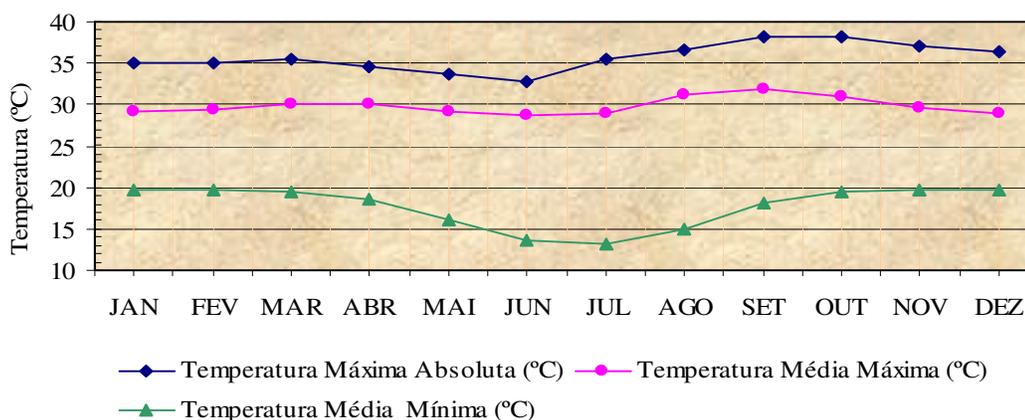


Figura 1.1 – Temperaturas máximas absolutas, médias máximas e mínimas da cidade de Goiânia.

Fonte: Ministério da Agricultura (1992).

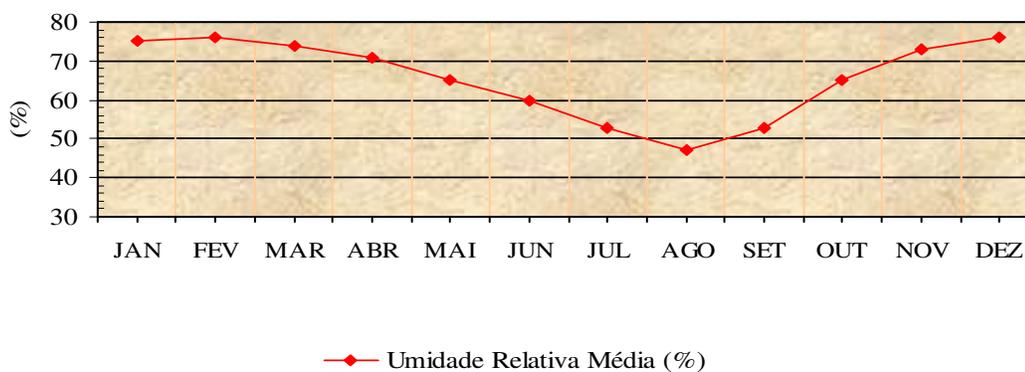


Figura 1.2 – Umidade Relativa Média do Ar (URM).

Fonte: Ministério da Agricultura (1992).

Comparando-se estes valores com o intervalo dos limites de conforto, o clima apresenta uma situação desfavorável para o emprego de grandes áreas envidraçadas. A ABNT (2005a) traz recomendações e diretrizes construtivas para a cidade de Goiânia, onde é recomendado que as aberturas para ventilação sejam sombreadas e com áreas variando de 15 a 25% da área do piso. As paredes das vedações externas devem ser pesadas, ou seja, atraso térmico  $\geq 6,5$  horas, a transmitância térmica ( $U$ )  $\leq 2,2$  W/m<sup>2</sup>K e fator solar  $\leq 3,5\%$ .

Mesmo com o clima pouco favorável ao emprego de fachadas de vidro, observa-se a sua aplicação em construções desde a década de setenta, quando os conceitos de conforto térmico eram pouco observados diante o modismo, até às construções recentes. Diante da utilização freqüente de grandes áreas de fachadas de vidros, torna-se pertinente o estudo das características óticas dos vidros e películas utilizados na construção civil, para o conhecimento dos produtos mais adequados para o clima da cidade de Goiânia.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as propriedades espectrais dos vidros e películas de proteção solar disponíveis no mercado da construção civil no município de Goiânia-GO através da obtenção experimental dos valores de transmissão e reflexão da radiação solar pela técnica espectrofotométrica e relacioná-los com o conforto térmico, para tirar proveito dos benefícios das suas características térmicas, buscando reduzir o período em que há necessidade de resfriamento artificial dos edifícios.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar o comportamento dos vidros à transmissão e reflexão da radiação dentro das diferentes faixas do espectro solar: ultravioleta (UV), visível (VIS) e infravermelho próximo (IV).
- b) Determinar parâmetros de desempenho térmico dos vidros e vidros com películas e relacioná-los com o conforto térmico.
- c) Apresentar para os materiais transparentes pesquisados uma análise comparativa de seus comportamentos espectrofotométricos e suas características óticas.
- d) Fornecer subsídios e indicativos para o emprego apropriado das superfícies transparentes quando se faz necessária sua especificação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONFORTO AMBIENTAL

A arquitetura energeticamente eficiente e climaticamente adequada vem sendo estudada no Brasil e no mundo sob diversos aspectos que vão desde a necessidade de preservação e recuperação dos recursos naturais, às restrições energéticas crescentes e à necessidade de adoção de um modelo de desenvolvimento ambientalmente sustentável.

Com a utilização de energia elétrica para a climatização e iluminação tornou-se possível projetar e construir independentemente do clima. Um edifício construído em Nova York poderia ser construído em São Paulo ou em qualquer outro lugar, pois a energia supriria a carência de técnicas construtivas adequadas ao clima. As características térmicas dos materiais, especialmente a inércia térmica, a importância do pé direito elevado, os elementos de sombreamentos, as proporções das aberturas de iluminação e ventilação, a correta orientação das fachadas eram aplicados pelos projetistas antes do surgimento da idéia equivocada de disponibilidade ilimitada de recursos energéticos e ambientais (SHALDERS, 2003).

O envelope de uma edificação é interpretado como uma barreira entre as condições externas e as internas, sobre as quais deve-se ter controle de seu desempenho. O desempenho energético de edifícios que tenham o mesmo envelope depende unicamente das condições climáticas locais. Com o objetivo de diminuir o consumo energético faz-se necessário melhorar o desempenho do envelope da edificação (ENSHEN; YONG, 2005). Uma das funções do bom projeto arquitetônico é promover o controle das condições ambientais internas, funcionando o envoltório da edificação como filtro que exclua as ocorrências indesejáveis do ambiente externo e aproveite as benéficas. A radiação solar é uma delas: pode vir a ser muito benéfica, quando bem aproveitada, como também pode ser especialmente indesejável em determinadas condições.

Do ponto de vista do conforto ambiental, a radiação solar relaciona-se diretamente ao conforto térmico e visual das edificações, sendo a janela, com suas superfícies transparentes, a parte do envelope que permite seu ingresso no ambiente interno. As janelas exercem um papel importante no sistema de energia de um edifício. E podem contribuir para aumentar o seu consumo energético de forma significativa. Janelas amplas podem

proporcionar níveis mais altos de iluminação natural e melhor vista para o exterior, mas também podem permitir maiores ganhos ou perdas de calor, o que refletirá no consumo de energia de edificações condicionadas artificialmente (GHISI; TINKER, 2005; GHISI, et al., 2005). Entre algumas das propriedades importantes que são exigidas além de avaliar o impacto das janelas em edifícios estão as propriedades óticas dos vidros, como a transmitância e absorvância, calculando seus valores no intervalo do espectro solar (KARLSSON et al., 2001).

Segundo Pinatti (1999), o conforto ambiental deve ser compreendido em seus vários aspectos: térmico, acústico, visual, a qualidade do clima interior e a funcionalidade. São fatores que definem a qualidade do ambiente construído, que afetam o ser humano, não só fisicamente como também do ponto de vista psicológico, de “sentir-se bem”. Cada um destes aspectos é objeto de estudo especializado, mas nenhum deles pode ser levado em conta isoladamente dos demais. Além disso, todos estes aspectos dizem respeito não só ao conforto, como também à saúde dos usuários dos ambientes considerados.

No caso particular do conforto térmico no ambiente construído, é necessário pensar inicialmente que o conforto depende das pessoas, em grande parte, das condições que lhe oferecem, dos locais onde elas exercem suas atividades, o que significa pensar nos locais onde passam parte de sua vida, seja na habitação, seja no trabalho ou lazer. Daí a importância da adaptação da edificação ao clima local.

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO

### 2.2.1 Caracterização das variáveis de influência sobre o conforto térmico

Segundo a ASHRAE (2003), “Define-se Conforto Térmico como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada por sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio”. Quando o organismo humano perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade do indivíduo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação, diz-se que o recinto apresenta características de neutralidade térmica. Essa condição dá a sensação de conforto térmico.

Como a sensação de conforto térmico é obtida a partir de uma interação entre o homem e o meio ambiente, para sua análise é fundamental o conhecimento de dois tipos de variáveis distintas, aqui denominadas: variáveis ambientais e variáveis pessoais.

- As variáveis ambientais são as referentes às condições termo-climáticas do ambiente: temperatura do ar; temperatura média radiante; velocidade do ar e umidade relativa do ar.

- Temperatura do ar é uma variável utilizada pela grande maioria dos índices de conforto térmico, constituindo um primeiro parâmetro de análise da condição térmica do ambiente. A temperatura não é consequência da ação direta do sol, pois o ar é transparente a todos os comprimentos de ondas eletromagnéticas. O processo ocorre indiretamente, ou seja, é consequência de um balanço energético da radiação solar incidente e do coeficiente de absorção da superfície receptora, da condutividade e da capacidade térmica do solo que determinam a transmissão de calor por convecção e das perdas por evaporação, convecção e radiação. O resultado destes fenômenos simultâneos determinam a temperatura do ar (RIVERO, 1985).

A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termo-reguladores. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa (LAMBERTS et al., 2005).

- Temperatura radiante média é a temperatura superficial uniforme de um ambiente imaginário, negro sob o aspecto de radiação, no qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor por radiação que no ambiente real não uniforme (RUAS, 2002).

- A velocidade do ar, dentro do contexto de conforto térmico, está relacionada com as trocas térmicas entre o corpo e o ambiente por convecção e evaporação. A velocidade do ar influencia na dissipação de calor de corpo humano no verão, mas faz o corpo humano sentir frio em inverno (HANQING et al., 2006). Também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência, reduzindo a sensação de calor. Por outro lado, em função da temperatura ambiente haverá um determinado valor de velocidade do ar em que poderá se iniciar a produção de desconforto (corrente de ar) através de um resfriamento localizado.

Em ambientes internos a velocidade do ar, geralmente está abaixo de 1m/s, sem necessariamente a ação direta do vento. O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada) (LAMBERTS et al., 2005).

– A umidade relativa do ar é caracterizada pela quantidade de vapor d'água contida no ar. O ar a uma determinada temperatura, pode conter somente uma certa quantidade de vapor de água. Ultrapassado este limite, ocorre a condensação, na qual o vapor excedente passa ao estado líquido, provocando o aumento da temperatura da superfície onde ocorre a condensação. A umidade absoluta corresponde à quantidade de vapor d'água contida em uma unidade de massa de ar (g/kg). Já a umidade relativa corresponde à relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para uma mesma temperatura (LAMBERTS et al., 2005). Se a umidade de um recinto fechado for muito alta, impedirá o suor de evaporar, e influenciará na dissipação do calor e na temperatura da pele, aumentando a sensação de desconforto (HANQING et al., 2006).

• As variáveis pessoais são aquelas inerentes às características das pessoas analisadas, as quais são morfológicas e antropométricas, como sexo, idade, altura e peso e estilo de vida adotado pelos indivíduos. Um estudo de campo realizado em Harbin, nordeste da China, com 120 pessoas durante o inverno de 2000/2001, foi realizado com o objetivo de investigar o ambiente térmico e o conforto em edifícios residenciais. Foram utilizados os métodos do voto médio predito (PMV), e a porcentagem estimada de insatisfeitas (PPD), as temperaturas consideradas neutras para os homens e para as mulheres foram, respectivamente, 20,9 e 21,9°C. A temperatura neutra para os homens foi 1°C menor do que a temperatura neutra para as mulheres, embora as mulheres usassem roupas mais pesadas que os homens durante a pesquisa (WANG, 2006).

– Metabolismo - Segundo Ruas (2002) o homem produz a energia necessária para a manutenção das suas funções vitais através do processo metabólico de degradação dos alimentos. Esse processo pode ser comparado a uma lenta queima de produtos devido ao consumo de oxigênio, converte o alimento em matéria viva e forma útil de energia. Porém, de toda energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% é transformada em potencialidade de trabalho (utilizada). Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio (KRAUSE et al., 2005; FERNANDES, 2002c).

A taxa de metabolismo é a taxa de produção de energia no tempo e, portanto é dada na unidade de potência Watt. No processo metabólico é liberado calor continuamente e a sua produção é maior com o aumento da atividade física executada. Dessa forma a taxa de metabolismo representa a quantidade de calor que o sistema termorregulador precisa trocar com o ambiente para que o equilíbrio térmico do corpo possa ser mantido e assim é um dos fatores determinantes do trabalho desse sistema (RUAS, 2002).

A sensação de conforto térmico é inversamente proporcional ao trabalho do sistema termorregulador, isso representa que quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será o desconforto. O calor produzido no corpo é resultado da assimilação e utilização do alimento como fonte de energia e assim o potencial calorífico da alimentação ingerida é uma medida do calor que será liberado. A taxa do metabolismo não depende só da atividade física e da alimentação, mas também da idade, sexo e temperatura ambiente (RUAS, 2002).

– A vestimenta equivale a uma resistência térmica interposta entre o corpo e o meio, ou seja, ela representa uma barreira para as trocas de calor por convecção. Funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais ou menos aquecida, conforme seja mais ou menos isolante, conforme seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre (XAVIER, 2000). A vestimenta reduz a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar (LAMBERTS et al., 2005). Sua unidade é o clo (do inglês *clothing*), representa a resistência térmica da vestimenta utilizada ( $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W} = 1 \text{ terno completo}$ ).

### **2.2.2 Índices de conforto térmico**

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o efeito conjunto das variáveis de conforto térmico (individuais e ambientais).

O bom desempenho térmico é fundamental para a sensação de satisfação com o ambiente construído. Portanto, torna-se necessário o estabelecimento de critérios e valores de referência para a correta avaliação do ambiente térmico que a edificação propicia. Com o intuito de quantificar as reações do organismo humano frente às variações térmicas do ambiente, buscou-se a implementação de índices e/ou sistemas de avaliação que expressem esta relação de causa e efeito. Segundo Frota e Schiffer (2003) existem cerca de três dezenas de índices de conforto térmico. Para as condições climáticas brasileiras os índices mais recomendados são:

– **Carta bioclimática de Olgay** – Foi desenvolvida a partir de estudos acerca de efeitos do clima sobre o homem, quer ele esteja abrigado ou não. Foi construída tendo como ordenada a temperatura de bulbo seco e como abscissa a umidade relativa do ar. Na região central está delimitada a zona de conforto. Se os pontos situarem fora da zona de conforto, há necessidade de serem tomadas medidas corretivas. Se o ponto situar acima será necessário movimento do ar. Com temperatura do ar elevada e umidade baixa, o movimento pouco favorece. Para pontos localizados abaixo do limite inferior da zona de conforto, as linhas representam a radiação necessária para atingir o conforto, que pode ser por aquecimento ou radiação solar (FROTA; SCHIFFER, 2003). Na Figura 2.1 é apresentado a carta bioclimática de Olgay, para habitantes de clima quente, em trabalho leve, vestindo um “clo”.

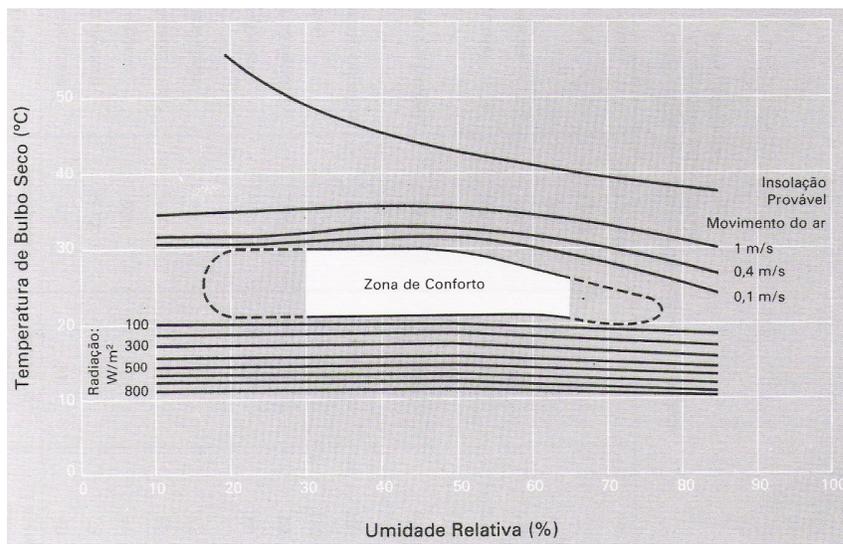


Figura 2.1 - Carta bioclimática de Olgay.

Fonte: Frota e Schiffer (2003).

– **Voto médio predito** – Este método foi desenvolvido por Fanger em 1970 (LAMBERTS et al., 2005) e é considerado o mais completo dos índices de conforto pois analisa a sensação de conforto em função das seis variáveis. Uma combinação das variáveis de temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade do ar, atividade física e vestimenta. Através de um trabalho experimental avaliou-se pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexos, obtendo-se o voto médio predito (PMV – *predicted mean vote*). O PMV consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. Foi implementado o conceito de porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD – *predicted percentage of dissatisfied*).

A escala de sensação térmica definida por Fanger tem os seguintes níveis:

- 3 – muito frio
- 2 – frio
- 1 – leve sensação de frio
- 0 – neutralidade térmica
- + 1 – leve sensação de calor
- + 2 – calor
- + 3 – muito calor

Essa escala é simétrica em relação ao ponto 0 (zero), que corresponde a neutralidade térmica e apresenta valores de 1 a 3 que podem ser positivos, correspondendo às sensações de calor, ou negativos, correspondendo às sensações de frio. Devido às diferenças individuais é impossível obter em um ambiente uma combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente a todos os integrantes de um grande grupo. Um ambiente é considerado termicamente aceitável quando a PPD < 10%, ou seja,  $-0,5 < PMV < + 0,5$  (LAMBERTS et al., 2005; RUAS, 2002). A Figura 2.2 mostra o diagrama do PMV e PPD proposto por Fanger, onde tem-se na abscissa o voto médio estimado e na ordenada a porcentagem estimada de pessoas insatisfeitas.

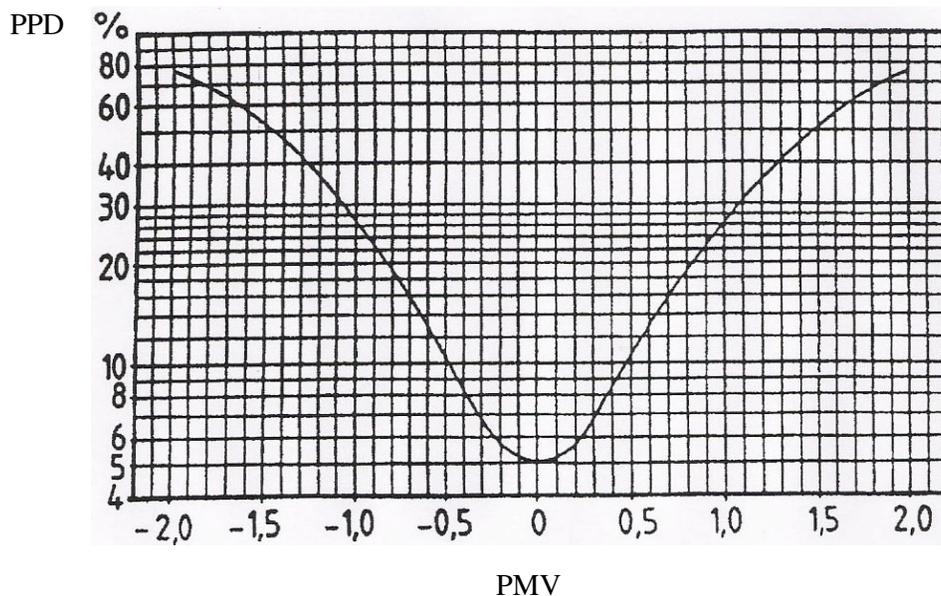


Figura 2.2 – Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV.

Fonte: Ruas (2002).

## 2.2.3 Variáveis do Clima

### 2.2.3.1 Radiação solar

A radiação solar caracteriza-se pela transferência de energia por meio de ondas eletromagnéticas emitidas pelo sol, da qual uma parte é interceptada pelo sistema Terra-atmosfera e convertida em outras formas de energia como, por exemplo, calor e energia cinética da circulação atmosférica (PINATTI, 1999). A quantidade de radiação solar que atinge a camada da atmosfera é em média de  $1.353 \text{ W/m}^2$  (constante solar).

A energia solar incidente nas camadas superiores da atmosfera varia em função da distância da terra ao sol, que acontece no transcorrer do ano, devido à excentricidade da órbita da terra. Depende, portanto, da distância terra-sol na região considerada (estudada). A radiação e a distribuição espectral são alteradas à medida que a radiação penetra a atmosfera terrestre. Fenômenos como a absorção, reflexão, refração e difusão ocorrem devido a presença de gases (MASSAMBANI, 2006).

As porcentagens aproximadas da transmissão, absorção, reflexão e difusão da radiação solar pela camada atmosférica, até atingir a superfície terrestre são (GRIMM, 1999):

- absorvida e espalhada na atmosfera 25%;
- refletida pelas nuvens 20%;
- refletida pelas superfícies 4%;
- difusa no solo 26%;
- direta no solo 25%.

A Figura 2.3 apresenta as diversas formas com que a radiação solar se apresenta na superfície terrestre.

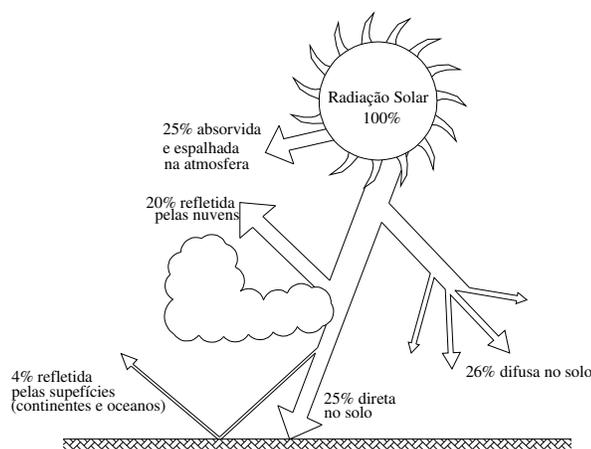


Figura 2.3 – Distribuição percentual da radiação solar incidente na atmosfera.

Fonte: adaptado de Grimm (1999).

A radiação solar global é a soma da radiação direta do sol e a radiação difusa proveniente da atmosfera. Dependendo das condições do céu (limpo, encoberto, etc.) a composição entre direta e difusa pode mudar bastante. Assim, em um dia de céu claro a composição é aproximadamente 1/10 de difusa e 9/10 de radiação direta; a componente difusa vai aumentando à medida que o céu se apresenta nublado (as nuvens brancas irradiam muito mais radiação difusa que o céu azul) e, obviamente, quando o céu estiver totalmente encoberto só teremos a radiação difusa que pode ser relativamente intensa (nebulosidade clara: forte mormaço) ou fraca (nebulosidade mais escura). De qualquer forma pode-se afirmar que, num mesmo local, o céu encoberto proporciona menor radiação global e o céu limpo maior, pois a radiação direta do sol é mais intensa. As radiações direta e difusa são variáveis que dependem das características gerais do clima da região (FERNANDES, 2002b).

A radiação solar ao incidir sobre as superfícies transparentes (janelas e demais aberturas envidraçadas) atinge o interior da edificação sob a forma de ondas curtas, aquecendo os elementos internos (moveis, paredes, pisos, etc.), esta energia é transformada em onda longa, o qual o vidro impede sua saída, uma vez que o vidro é opaco à radiação de onda longa, ou seja, o calor entra através das superfícies envidraçadas e não sai de dentro do ambiente devido a mudança do comprimento de onda (FERNANDES, 2002a).

### 2.2.3.2 Componentes espectrais da radiação solar

O intervalo de comprimentos de onda (ou energia) dos diferentes tipos de radiação eletromagnética, ou ondas eletromagnéticas é chamado de espectro eletromagnético. Este espectro abrange o conjunto de comprimentos de ondas longas, de baixa frequência que são as ondas de rádio, passando pelas infravermelhas (radiação térmica), o visível, o ultravioleta, as de ondas curtas de alta frequência que são os raios X e raios gama (Figura 2.4).

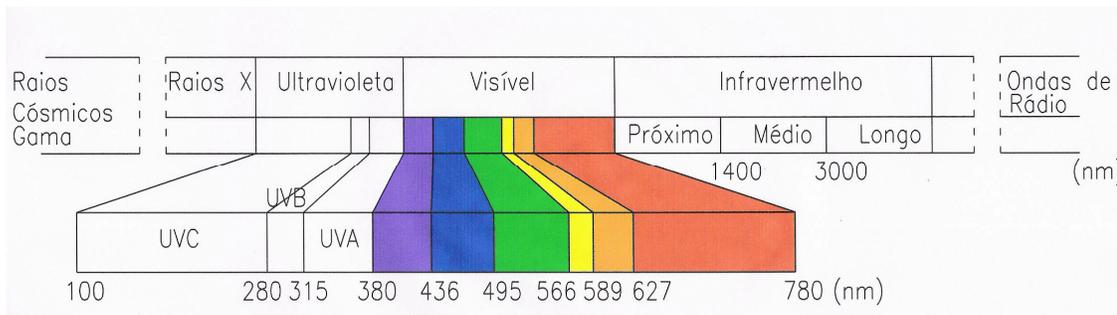


Figura 2.4 - Espectro Eletromagnético.

Fonte: adaptado de Faria e Souza (2006).

A radiação solar na superfície terrestre compreende um espectro que vai desde o ultravioleta ao infravermelho de ondas longas, com comprimentos de onda nos intervalos de 100 nm a 1 mm. A radiação que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre distribui-se nas seguintes proporções aproximadas: ultravioleta (UV) de 1 a 5%; visível (Vis) de 41 a 45%; e infravermelho (IV) de 52 a 60% (CARAM, 1996).

Mas do ponto de vista do aproveitamento de energia solar, pode-se considerar somente as radiações cujos comprimentos de ondas encontram-se basicamente entre 290 nm e 1800 nm (CHEREMISINOFF, 1974 apud CARAM, 1998), pois os comprimentos de ondas superiores a estes valores chegam de forma bastante reduzida à superfície, são absorvidos pelos vapores de água e dióxidos de carbono presentes na atmosfera. E os comprimentos de ondas inferiores a 290 nm, são absorvidos pela camada de ozônio existente na atmosfera.

Os limites da radiação ultravioleta são geralmente considerados como sendo entre 100 e 380 nm, subdivididos em três partes (GIL, 2005):

- Ultravioleta A – de 315 a 380 nm - são carcinogênicos, estimulam a pigmentação cutânea, desencadeiam reações foto-sensibilizantes, potencializam efeitos deletérios da radiação UV B. Representa o principal responsável pelo fotoenvelhecimento;
- Ultravioleta B – de 280 a 315 nm - causam a fotocarcinogênese, que pode gerar carcinomas basocelulares (mais freqüentes) e melanomas (mais graves);
- Ultravioleta C – de 100 a 280 nm - não atingem a Terra, são bloqueados pela camada de ozônio.

Os raios ultravioletas apesar de chegarem à superfície terrestre em pequena proporção, causam fenômenos indesejáveis como o desbotamento ou descoloração da matéria. Contudo a radiação ultravioleta é desejável onde a ação bactericida que é capaz de matar muitas espécies de bactérias, fungos, mofo e germes, ocorrendo com incidência dos raios para intervalos inferiores a 320 nm. A síntese da vitamina D ocorre através da exposição da pele aos raios solares, e a vitamina D, por sua vez, está envolvida na formação do cálcio, responsável pela estrutura dos ossos (CARAM, 1996).

Problemas de pele, cataratas nos olhos e no sistema imunológico podem ser prevenidos através da redução da exposição à radiação ultravioleta (GIL, 2005).

A região chamada espectro visível solar é aquela para a qual o olho humano é sensível, numa sensação de visão e cores. A luz é, portanto, o instrumento através do qual se estabelece a visão. Do ponto de vista do conforto ambiental, é desejável em quantidades certas, para o aproveitamento da iluminação natural. O espectro visível pode ser dividido em

regiões de comprimentos de ondas aproximadas, causando, cada uma, a sensação de cor no olho humano:

- 380 a 436 nm violeta;
- 436 a 495 nm azul;
- 495 a 566 nm verde;
- 566 a 589 nm amarelo;
- 589 a 627 nm laranja;
- 627 a 780 nm vermelho.

Os limites da faixa espectral da radiação infravermelha não são bem definidas, mas são comumente consideradas entre 780 nm e 1 mm. Encontra-se dividida em três faixas:

- infravermelho de ondas curtas (próximo) – 780 a 1400 nm;
- infravermelho de ondas médias – 1400 a 3000 nm;
- infravermelho de ondas longas – 3000 nm a 1 mm.

Toda radiação absorvida na edificação transforma-se em calor, porém a região do infravermelho, mais especificamente a do infravermelho próximo, tem o efeito mais forte de aquecimento entre todos os tipos de radiação. O infravermelho é invisível ao olho humano, mas é sentido como calor (CARAM, 1996).

### 2.2.3.3 Temperaturas

O ar é transparente às ondas eletromagnéticas, razão pela qual sua temperatura não é consequência da ação direta dos raios solares. A temperatura do ar é determinada principalmente pela taxa de aquecimento e resfriamento da superfície terrestre. A radiação solar atinge o solo onde é absorvida e transformada em calor (RIVERO, 1985). O sol tem efeito indireto sobre a temperatura.

O resultado destes fenômenos simultâneos é que a temperatura do ar começa a elevar-se a partir da saída do sol, chegando a um máximo que ocorre cerca de duas horas após a passagem do sol pelo meridiano como consequência do calor armazenado na Terra. A partir deste momento, o balanço começa a ser negativo: a energia perdida, especialmente por radiação em direção às altas camadas da atmosfera, é maior que a recebida, fazendo com que a temperatura da superfície da Terra comece a diminuir até alcançar um mínimo pouco antes do nascer do sol (LAMBERTS et al., 2005).

Aproximadamente 55% da energia solar que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície da Terra. Parte desta energia é reirradiada para a atmosfera. A atmosfera é praticamente transparente à radiação solar (ondas curtas) e absorvente para a radiação terrestre (ondas longas), a Terra é a maior fonte de calor para a atmosfera. O vapor d'água e o dióxido de carbono são os principais gases absorvedores. O vapor d'água absorve aproximadamente 5 vezes mais radiação que todos os outros gases combinados e responde pelas temperaturas mais altas na baixa troposfera, onde está mais concentrado (GRIMM, 1999).

Quando a atmosfera absorve radiação terrestre ela se aquece e eventualmente irradia esta energia, para cima e para baixo, onde é novamente absorvida pela Terra. Portanto, a superfície da Terra é continuamente suprida com radiação da atmosfera e do Sol. Esta energia será novamente emitida pela superfície da Terra e uma parte retornará à atmosfera que, por sua vez, reirradiará uma parte para a Terra e assim por diante. Este jogo entre a superfície da Terra e a atmosfera torna a temperatura média da Terra em torno de 35°C mais alta do que seria. Sem os gases absorvedores da atmosfera, a Terra não seria adequada para a vida humana e muitas outras formas de vida. Este fenômeno extremamente importante tem sido denominado efeito estufa. No perfil vertical de temperatura média na atmosfera, os 10 km iniciais (região da troposfera) tem um decréscimo de aproximadamente 6,5°C/km de temperatura (GRIMM, 1999).

A importância do vapor d'água e dióxido de carbono em manter a atmosfera aquecida é bem conhecida em regiões montanhosas. Topos de montanhas recebem mais radiação que os vales durante o dia, porque há menos atmosfera a atravessar. A noite, porém, a atmosfera menos densa também permite maior perda de calor. Este fator mais que compensa a radiação extra recebida e, como resultado, os vales permanecem mais quentes que as montanhas adjacentes, mesmo recebendo menos radiação (GRIMM, 1999).

A amplitude térmica é maior em climas secos do que em climas úmidos por que os climas secos caracterizam-se por sua baixa umidade e pouca nebulosidade. Nos climas úmidos, durante o dia, a radiação é menor por causa da nebulosidade, além do que, as perdas por evaporação são favorecidas devido à umidade que cobre o solo. Desta forma, a temperatura superficial não atinge os valores dos solos secos (GRIMM, 1999).

As nuvens, assim como o vapor d'água e o CO<sub>2</sub>, são bons absorvedores de radiação infravermelha (terrestre) e tem papel importante em manter a superfície da Terra aquecida, especialmente à noite. Durante a noite, as nuvens se interpõem entre a superfície e as camadas

altas da atmosfera, que têm uma temperatura muito baixa, originando uma perda menor por radiação (LAMBERTS et al., 2005). Uma grossa camada de nuvens pode absorver a maior parte da radiação terrestre e reirradiá-la de volta. Isto explica porque em noites secas e claras a superfície se resfria bem mais que em noites úmidas ou com nuvens. Mesmo uma cobertura fina, através da qual a lua é visível, pode elevar a temperatura noturna em torno de 5°C (GRIMM, 1999).

Um outro aspecto a ser considerado é o efeito das chamadas ilhas de calor, um efeito comum nos centros das grandes metrópoles. A ilha de calor é fenômeno noturno caracterizado pelo aumento da temperatura do ar, provocado pelo adensamento excessivo dos centros urbanos, em relação à temperatura do entorno não urbanizado da cidade. Embora os efeitos sejam também sentidos durante o dia, o fenômeno se caracteriza pelo pouco resfriamento do ar durante a noite, devido à grande massa de concreto que armazena calor durante o dia e o libera à noite, evitando o resfriamento natural do ar no período noturno (SHALDERS, 2003).

Nos espaços altamente urbanizados, é significativa a diferença de temperatura entre a região central, mais quente, e a periferia, com menor temperatura. Isso ocorre porque nas áreas centrais os automóveis e indústrias lançam poluentes, que provocam o aumento da temperatura. O concreto e o asfalto absorvem rapidamente o calor, cuja dispersão é dificultada pela poluição. Os gases formam nuvens que permanecem perto da superfície, retendo parte da radiação infravermelha responsável pelo aumento da temperatura e formando "ilhas de calor".

Santamouris et al. (2001) realizaram um experimento em Atenas na Grécia, onde instalaram 20 estações automáticas durante o verão de 1997. Foram coletadas as temperaturas do ar, temperaturas das superfícies das fachadas externas das edificações e velocidades do vento. Nas áreas centrais as temperaturas durante o dia ficaram em torno de 10°C mais elevadas que nas áreas periféricas, a noite a diferença girou entre 2 e 5°C.

A avaliação é que, apesar de as ilhas de calor existirem nos centros urbanos, sua intensidade varia conforme as características específicas de cada região, exemplo: clima, topografia, do nível e do padrão de urbanização e da localização geográfica. Por isso as estratégias mais eficazes para reduzir os efeitos do aquecimento também devem obedecer às particularidades regionais. Uma das formas de evitar a formação dessas ilhas de calor é a manutenção de áreas verdes nos centros urbanos, pois a vegetação altera os índices de reflexão do calor e favorece a manutenção da umidade relativa do ar.

#### 2.2.3.4 Umidade

A umidade do ar é regulada pela vegetação e pelo ciclo hídrico. O regime de chuvas, aliado à existência de lagos, rios e mares regulam a umidade através da evaporação enquanto a vegetação atua na umidade do ar através da evapotranspiração. Outros fatores que podem influenciar na umidade do ar são a topografia e a ocupação urbana (LAMBERTS et al., 2005).

A alta umidade realça a sensação térmica, razão pela qual os climas de vale são considerados frios no inverno e quentes e abafados no verão. No ambiente urbano, a ocupação e pavimentação excessiva provoca uma carência da vegetação que acarreta uma redução da umidade relativa do ar (LAMBERTS et al., 2005).

A umidade influencia na amplitude térmica, a temperatura influi na quantidade de vapor de água que o ar pode conter. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de vapor de água por metro cúbico de ar. A carta psicrométrica traz esta relação, mostrando as temperaturas máximas que podem conter determinadas quantidades de vapor de água (temperaturas de ponto de orvalho) para uma dada pressão atmosférica (LAMBERTS et al., 2005).

#### 2.2.3.5 Vento

Uma das principais causas da distribuição dos ventos no globo é o desequilíbrio de radiação entre as latitudes baixas e altas. O aquecimento desigual da Terra e da atmosfera pela radiação solar gera energia potencial, parte da qual se transforma em energia cinética pela elevação do ar quente na região próxima ao equador, abrindo caminho para a entrada do ar frio que vem do norte e do sul (LAMBERTS et al., 2005).

O vento é também influenciado pela altitude, pela topografia e pela rugosidade do solo. Regiões de topografia acidentada desviam o vento, alterando sua direção e velocidade, ou podem canalizá-lo, aumentando então sua velocidade. Sua fluidez permite que sua trajetória seja comparada à trajetória das águas pluviais.

A rugosidade do solo pode ser formada pelo tipo de solo, pela vegetação ou pela cobertura urbana (edifícios), dependendo da escala de análise. Quanto maior a rugosidade do solo, menor a velocidade do vento (LAMBERTS et al., 2005).

Em climas quentes e úmidos, a ação dos ventos na cidade é benéfica para promover o conforto térmico. É desejável também para agir contra as Ilhas de Calor e

dispersar a poluição do ar. No último caso, deve-se observar a direção do vento para que ele não leve a poluição gerada por um distrito industrial, por exemplo, para o centro da cidade (LAMBERTS et al., 2005).

Assim como a umidade, o vento influencia na sensação térmica e a temperatura percebida pelo indivíduo é relação entre a temperatura ambiente, a velocidade do vento e a temperatura da pele seca do ser humano (INMET, 2006).

A Tabela 2.1 apresenta as direções e velocidades dos ventos dominantes para a cidade de Goiânia, Goiás.

Tabela 2.1 - Direções e velocidades dos ventos dominantes na cidade de Goiânia, Goiás.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Direção dos Ventos	NO	NE	NE	NE	SE	SE	SE	NE	SE	NE	NE	NE
Velocidade (m/s)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0	2,5	2,5

Fonte: Ministério da Agricultura (1992).

## 2.2.4 Variáveis que influenciam o desempenho térmico das edificações

### 2.2.4.1 Ventilação

A ventilação é o processo de renovação do ar de um recinto. Tem por finalidade fundamental o controle da pureza e o deslocamento do ar em um recinto fechado, embora dentro de certos limites, a renovação do ar também possa controlar a temperatura e a umidade do mesmo (COSTA, 1991).

Segundo Frota e Schiffer (2003), a ventilação proporciona a renovação do ar do ambiente, sendo de grande importância para a higiene em geral, para o resfriamento estrutural e para o conforto térmico de verão em regiões de clima temperado e de clima quente e úmido. A renovação do ar dos ambientes propicia a dissipação de calor e a desconcentração de vapores, fumaça, poeiras e poluentes. Ela se dá por meios naturais e mecânicos. Segundo Toledo (1999), o conhecimento em bases científicas do fenômeno da ventilação natural dos edifícios, é relativamente pequeno comparado com o que atualmente existe sobre ventilação com o emprego de equipamentos mecânicos.

Alcançar um microclima ótimo necessita de duas funções básicas em um sistema de ventilação. Prover controle efetivo sobre a taxa de ventilação e garantir um

controle eficiente no padrão de corrente de ar dentro da estrutura ventilada (BUGGENHOUT, 2005).

#### 2.2.4.2 Proteção solar

Brisas normalmente são projetados para proporcionar proteção solar em fachadas envidraçadas, buscando minimizar os efeitos proporcionados pela radiação solar direta, que causam desconforto térmico e visual (claridade excessiva) ao penetrar no ambiente, melhorando assim as condições térmicas da edificação (JORGE, 1996).

Estudos realizados por Frank (2005), na Suíça, mostraram que uma edificação com proteção solar eficiente e estratégias de ventilação durante a noite são capazes de manter temperaturas de ar em recinto fechado dentro de uma gama aceitável de conforto.

#### 2.2.4.3 Orientação da fachada.

A fachada deve ser posicionada tendo como fator decisivo a análise do clima local. Nos locais onde o clima é predominantemente quente, deve-se evitar que a radiação solar direta atinja as construções e penetre excessivamente os ambientes, prevenindo-se assim, ganhos excessivos de calor. A orientação deve considerar a velocidade e direção dos ventos predominantes locais (KOSIK, 2001).

Um bom projeto de orientação das ruas que propiciem o aproveitamento de sombras podem ser a chave para um microclima ameno para pedestres (ALI-TOUDERT; MAYER, 2006).

#### 2.2.4.4 Influência da cor externa

Segundo Castro (2003), o desempenho térmico de edificações é também influenciado pela cor externa. A cor de uma superfície opaca fornece boa indicação de sua capacidade de absorção da radiação solar. Quanto mais clara e brilhante, menor a absorção e conseqüentemente, maior reflexão.

No verão ensolarado da cidade de Londres, Inglaterra, Kolokotroni et al., (2006) realizaram medições em superfícies de materiais similares com colorações escuras e claras e comprovaram que as superfícies claras estavam em média 8°C mais frias que as escuras.

#### 2.2.4.5 Efeito térmico de janelas

Segundo Pinatti (1999), janela refere-se a qualquer abertura do envelope construído. Fazem a comunicação visual humana com o mundo exterior. Admitem radiação solar promovendo iluminação e aquecimento internos. Permitem perda de calor, bem como a penetração de ar vindo do exterior. Funcionam como saídas de emergência. Melhoram a aparência externa e interna do edifício. Porém, atenção deve ser dada para as janelas de um edifício, pois é através delas que ocorrem as transferências energéticas mais significativas. Para a seleção das janelas no projeto, deve-se considerar os seguintes fatores:

- o arquitetônico, que identifica as opções de desenho associadas ao clima local e sintetizando aquelas que asseguram conservação energética da construção;
- o térmico, que projeta as perdas e ganhos de calor de modo a obter uma condição térmica e econômica;
- o econômico, que avalia os custos e a vida útil para as diversas alternativas de janelas;
- as necessidades humanas, as normas de iluminação apropriadas para o local e conforto.

Ghisi, et al. (2005) confrontam resultados obtidos através de simulações computacionais utilizando o programa VisualDOE com informações obtidas na literatura sobre área de janela para se garantir vista para o exterior e também sobre dimensões adequadas para se permitir o melhor aproveitamento de iluminação natural. Os autores concluíram que as áreas de janelas recomendadas na literatura para garantir vista para o exterior são, na maior parte dos casos, inadequadas, pois tendem a ser maiores do que aquelas obtidas nas simulações para garantir eficiência energética. Também constataram que ambientes de pouca profundidade, como os recomendados na literatura para se permitir melhor aproveitamento da iluminação natural, não são os mais adequados para se garantir menor consumo de energia. Janelas amplas podem proporcionar níveis mais altos de iluminação natural e melhor vista para o exterior, mas também podem permitir maiores ganhos ou perdas de calor, o que refletirá no consumo de energia de edificações condicionadas artificialmente. Gratia e Herde (2003) afirmam que estratégias de projeto precisam ser tomadas para melhorar a qualidade dos edifícios, medidas como o tamanho das janelas, a forma da edificação, a profundidade e a altura das salas podem juntos, dobrar o consumo de energia de uma edificação se não forem bem projetados.

Houve um aumento médio no consumo de eletricidade na ordem de 10% ao ano no setor comercial nas décadas de 70 a 90 em Hong Kong. Iniciou-se uma grande campanha para que arquitetos e engenheiros projetassem edifícios mais eficientes energeticamente. Pesquisas começaram a ser desenvolvidas para se descobrir quais seriam as variáveis relativas ao envelope da edificação que mais influenciavam no consumo de energia e o coeficiente de sombreamento e área da janela eram os que mais influenciavam (LAM et al., 1997). Lam (2000) avaliou 146 edifícios comerciais realizando simulações computacionais com o programa DOE-2 e verificou que a carga de resfriamento devido aos ganhos de calor através da janela pode representar até 50% da carga térmica total.

As opções de tratamento em relação à radiação devem ser consideradas de acordo com as possibilidades econômicas de cada usuário. Com o objetivo de se atingir conforto térmico existem várias alternativas desde a aplicação de películas em fachadas já existentes à aplicação de vidros com notável capacidade de proteção aos raios solares, por exemplo, os vidros refletivos.

### 2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Eficiência energética é uma interação entre o envelope da edificação e o sistema mecânico, onde o principal objetivo é a conservação da energia elétrica, tanto no lado da produção como no do consumo, concorrendo para a melhoria da qualidade de produtos e serviços, reduzindo os impactos ambientais e fomentando a criação de empregos. Conservar energia elétrica quer dizer melhorar a maneira de utilizar a energia, sem abrir mão do conforto e das vantagens que ela proporciona. Significa diminuir o consumo, reduzindo custos, sem perder, em momento algum, a eficiência e a qualidade dos serviços. As metas de longo prazo do PROCEL estão consignadas no ano 2015. Prevêem uma redução de demanda da ordem de 130 bilhões de kWh em 2015, evitando a instalação de 25.000MW (cerca de duas usinas de ITAIPU) e ganho líquido de R\$ 34 bilhões (ELETROBRÁS, 2006).

A energia elétrica durante várias décadas foi vista como um bem ilimitado. A sociedade brasileira desenvolveu-se sem preocupação de utilizar a energia elétrica de maneira mais eficaz e/ou eficiente, visando a redução não só dos custos referentes ao consumo, mas também da produção deste bem (WEIGMANN, 2004). Em 2001 em função da crise energética que atingiu o país, o Ministério das Minas e Energia (MME) implantou medidas para reduzir o consumo. Dentre elas a lei nº 10.295, de outubro de 2001 dispõe sobre a

Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia onde todos os equipamentos e edificações deveriam respeitar níveis mínimos de eficiência (INEE, 2006).

Silva et al. (2003) fizeram levantamento dos sistemas de avaliação ambiental existentes, voltados para a certificação ambiental dos edifícios. Os sistemas funcionavam através de um *checklist*, onde verificava-se o atendimento de itens mínimos de desempenho, projeto e operação dos edifícios. Relataram também que no Brasil, ainda era necessária pesquisa de base considerável para a certificação de desempenho em edificações. Afora o selo PROCEL, não existia esquemas de certificação ou classificação de desempenho ambiental.

Segundo Jannuzzi (2004) a busca da eficiência no segmento de edificações não é nova e vem sendo feita pelo governo federal através do PROCEL desde 1985, e com a publicação da lei 10.295 em 2001 tornou obrigatória medidas mais eficazes nas edificações. Houve avanços significativos na legislação e nos procedimentos legais que amparam os programas de eficiência energética, com resultados significativos para a comunidade, porém projetos aparentemente interessantes quando avaliados por um critério, podem não ser, sob o ponto de vista do interesse público, quando avaliados mais detalhadamente. Existem vários mecanismos de combate à ineficiência, mas dois se destacam que é a implantação de normas fixando valores mínimos de desempenho e treinamento da mão-de-obra que trabalha no setor da construção civil.

Mendes (2005) relata que os projetos de edificações no Brasil recebem pouca atenção quanto ao uso racional de energia, principalmente devido à falta de legislação que imponha limites de consumo e da falta de profissionais qualificados para atuar nesse campo multidisciplinar.

Estudos de levantamento do consumo médio de energia elétrica demonstraram que os edifícios comerciais mais antigos em Salvador (que possuem maior massa térmica) consomem em média 80 kWh/m<sup>2</sup> ao ano, enquanto construções mais recentes (edifícios envidraçados) consomem em média 130 kWh/m<sup>2</sup> ao ano. Pesquisas feitas no Rio de Janeiro apontam a existência de edifícios que consomem até 340 kWh/m<sup>2</sup> ao ano (média feita em quatro edifícios comerciais), em que o ar condicionado é responsável por 50% deste consumo. Em Florianópolis a média é de 120 kWh/m<sup>2</sup> ao ano, onde o ar condicionado representa 50% deste valor no verão, chegando a 70% para edifícios envidraçados (MASCARENHAS et al., 1995; TOLEDO, 1995; LOMARDO, 1988 apud LAMBERTS et al. 2004).

O Ministério das Minas e Energia criou um grupo técnico para adotar procedimentos que avaliassem a eficiência energética das edificações e criassem indicadores técnicos referenciais do consumo de energia destas edificações. Em Fevereiro de 2007 foi publicado a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Este texto contém os requisitos técnicos necessários para a

classificação do nível de eficiência energética de edifícios, que incluem três requisitos principais: eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, eficiência do sistema de condicionamento do ar e o desempenho térmico da envoltória do edifício (MME, 2007).

### 2.3.1 Principais causas da ineficiência energética das edificações

De acordo com o INEE (2006), o uso de energia nas edificações é, de um modo geral, ineficiente, tendo como principais causas um projeto com soluções padronizadas, a construção com técnicas ultrapassadas e a escolha de aparelhos ineficientes.

A seguir estas três causas da ineficiência do uso da energia nas edificações são analisadas.

- Projeto – Soluções convencionais padronizadas, sem efetiva consideração dos ganhos decorrentes de tratamento adequado, da forma, do envelope e dos espaços internos da edificação, tendo em conta os conceitos de eficiência energética.

- Não utilização sistemática de modelos de simulação energética das edificações para estudo de prédios novos e pós-ocupados.

- Orientação inadequada do prédio para garantir uma insolação otimizada, proteção/aproveitamento dos ventos etc. Em muitos casos, isto decorre da existência de códigos de obras e edificações inadequados.

- Escolha de materiais que não cumprem o papel de reter ou dispersar a energia no interior da edificação. Emprego de materiais inadequados para cumprir a mesma função que materiais com menor insumo energético poderiam atender. Exemplo: a especificação de um vidro refletivo em detrimento de um vidro incolor.

- Escolha inadequada de equipamentos e de sistemas de supervisão e controle para os serviços oferecidos pela edificação (transporte, iluminação, refrigeração, bombeamento, etc).

- Informações não sistematizadas sobre dados climáticos, inadequadas à elaboração de projetos mais exigentes.

James e Bahaj (2005) apontaram como fatores causadores dos problemas térmicos, nos meses de verão, em um estudo de caso de um edifício considerado “doente” na universidade de Southampton, no Reino Unido, a baixa massa térmica das paredes de vidro e a má orientação.

Segundo Balocco (2000) há amplas possibilidades de planejar e projetar técnicas para reduzir a demanda energética de um edifício. Planejamento para assegurar ventilação

natural e ganhos solares são velhos conhecidos, mas nem sempre implantados. Deve-se considerar a conexão entre as necessidades de uma edificação e o clima local. Medidas simples, porém eficientes podem melhorar o desempenho.

- Construção – O desconhecimento de novas técnicas construtivas e de equipamentos que podem reduzir o consumo de energia durante o período de construção, com aumento da segurança e redução do prazo.

- Escolha de aparelhos ineficientes – Para converter a energia comercial (eletricidade, gás, óleo, derivados do petróleo) em serviços de energia (luz, movimento, calor/frio).

- Utilização inadequada ou insuficiente de sistemas de supervisão e controle.
- Operação inadequada dos equipamentos existentes.
- Não aproveitamento integral da energia renovável (originária do sol sob a forma de calor, luz e vento) disponibilizada pela natureza no local.
- Comportamento inconsciente ou desinformado dos usuários.
- O efeito combinado de um prédio mal orientado (aumento de 20% na carga térmica) associado a um projeto da envoltória inadequada e do sistema de condicionamento ambiental ineficiente (mais 20% de consumo de energia), pode dobrar o consumo elétrico.

A China possui um clima inconstante, varia de invernos extremamente frios a verões rigorosos. Estabeleceram uma meta de economizar 50% do consumo de energia nas edificações com aquecimento, condicionamento e iluminação. O uso dos equipamentos é fiscalizado para que não haja excessos (LIANG, 2006).

Meier et al. (2002) citam que existem exemplos de edifícios energeticamente eficientes em muitos países. Mas para ser possível identificar algumas características destes edifícios eficientes é necessário definir três critérios para a eficiência energética na edificação:

- o edifício tem que estar ocupado com equipamentos eficientes e materiais apropriados para a localização da edificação;
- a edificação tem que fornecer serviços apropriados para a localização e uso final da construção.
- a edificação tem que ser administrada de modo a ter baixo consumo de energia se comparada com outra edificação similar. E a energia consumida para a construção e demolição necessita ser somada para que um edifício possa ser considerado eficiente.

Ainda não há como evitar algum grau de desperdício, que ocorre sempre que se utiliza qualquer forma de energia. Para reduzir perdas há, normalmente, custos associados e

ganhos mensuráveis. A busca de maior eficiência energética possível nas edificações é técnica e economicamente conveniente para o construtor, para o usuário e, mais do que isso, beneficia a sociedade como um todo. Mas para que ocorra, é necessário construir elos de responsabilidade entre todos (INEE, 2006).

A eficiência energética, a otimização do consumo e o combate ao desperdício de energia deve ser implementado através da inserção de uma cultura empreendedora e de inovação tecnológica em que se vislumbre a organização e sensibilização da comunidade através de ações que venham a reduzir o consumo de energia e a racionalização do seu uso, tanto no âmbito profissional, educacional quanto no âmbito pessoal e familiar.

#### 2.4 PARÂMETROS RELACIONADOS AO CONTROLE SOLAR ATRAVÉS DE FACHADAS TRANSPARENTES

Quando a radiação solar incide sobre uma superfície transparente, uma parte dela é transmitida diretamente para o interior do ambiente, outra parte é refletida, e a terceira parte é absorvida. Parte da radiação absorvida é reirradiada para o exterior e parte é reirradiada para o interior como pode ser visto na Figura 2.5.

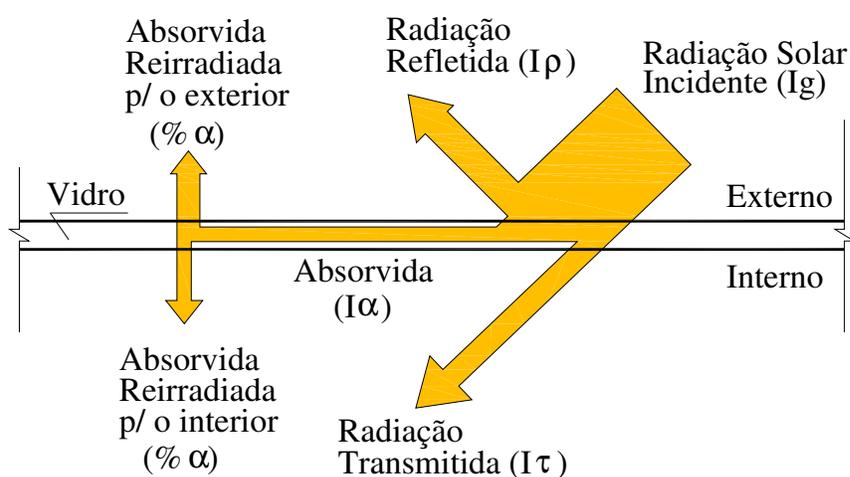


Figura 2.5 – Comportamento dos vidros diante da radiação solar.

Fonte: adaptado de Miana (2005).

Para controlar o ganho de calor que ocorre através dos vidros, as porcentagens de transmissão e reflexão são determinadas nos ensaios espectrofotométricos e a porcentagem de absorção é definida pela equação matemática (Miana, 2005):

$$I_g = (I\alpha) + (I\rho) + (I\tau) \quad (2.1)$$

Onde:

$I_g$  = radiação total incidente na superfície ( $W/m^2$ );

$I\alpha$  = radiação absorvida;

$I\rho$  = radiação refletida;

$I\tau$  = radiação transmitida.

E que :

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.2)$$

Onde:

$\alpha$  = absorptância;

$\rho$  = refletância;

$\tau$  = transmitância.

Segundo Caram (1998) existem parâmetros que devem ser considerados quando é estudada a adequação de um fechamento transparente. O vidro ideal para clima quente e exposto diretamente à radiação solar deve possuir boa transmissão de luz e pouca de infravermelho assim, a autora, estabeleceu a razão visível/infravermelho para esta análise comparativa. E sob o ponto de vista de ganho e perda de calor devem ser levados em consideração os valores do Fator Solar ou Fator de Ganho de Calor Solar, do Ganho de Calor Solar e do Coeficiente de Sombreamento.

#### 2.4.1 Razão visível/infravermelho

A razão visível/infravermelho é uma relação entre o que é transmitido na região do visível e o que é transmitido na região do infravermelho (CARAM, 1998).

$$\text{Razão Vis/IV} = \frac{\% \text{Vis}}{\% \text{IV}} \quad (2.3)$$

Quando as porcentagens de transmissão forem iguais, o coeficiente é igual a um. Se a transmissão do espectro visível for maior, este coeficiente será maior que um. E se o Infravermelho for maior, o coeficiente será menor que um. Procura-se então materiais cujos índices sejam maiores que um. Para completar esta análise deve-se procurar um material que possua boa transmissão luminosa.

#### **2.4.2 Fator Solar (F.S.) ou Fator de Ganho de Calor Solar (F.G.C.S.)**

Fator Solar (F.S.) é o quociente da taxa de radiação transmitida através de um componente transparente, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa (ABNT, 2005b).

$$F.S. = \tau + (\alpha * U * R_{se}) \quad (2.4)$$

Onde:

F. S.= Fator Solar para elementos transparentes;

$\tau$  = radiação transmitida através dos elementos transparentes;

$\alpha$  = radiação absorvida pelos elementos transparentes;

U = transmitância térmica do material em estudo, quantifica a capacidade de transferência de calor através do material;

$R_{se}$  = resistência térmica superficial externa. A  $R_{se}$  é considerada igual a 0,04 ((m<sup>2</sup>.K)/W)(ABNT, 2005c), e também conhecida por 1/ $h_e$ , onde o  $h_e$  é o coeficiente superficial externo de transmissão de calor (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Segundo Santos (2002) no instante que a energia solar incide sobre a superfície de um material transparente, ele passa a absorvê-la e tem a possibilidade de trocá-la instantaneamente, tanto com o exterior como com o interior, através dos processos de radiação e convecção, sendo que a energia absorvida internamente no material migra rapidamente, devido à pequena espessura, para ambas as superfícies. E para que esses dois processos ocorram, as temperaturas nas superfícies dos vidros devem ser superiores às temperaturas internas e externas dos ambientes. Se houver uma diferença grande entre as temperaturas nos ambientes, e a energia absorvida não for muito grande, a temperatura do vidro pode estar abaixo que a de um dos lados e a energia fluir em um só sentido.

Frota e Schiffer (2003) estabeleceram valores para o coeficiente superficial externo de transmissão de calor ( $h_e$ ) em função da velocidade do vento (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Coeficiente superficial externo em função da velocidade do vento.

Tipo de vento	Velocidade do vento (m/s)	$h_e$ (W/m <sup>2</sup> °C)
Ar Calmo	0,1	8
Velocidade muito fraca	0,5	10
Velocidade fraca	1,0	13
Velocidade média	3,0	21
Velocidade forte	9,0	35
Velocidade muito forte	18,0	50

Fonte: Frota e Schiffer (2003).

Sendo o vidro um material homogêneo e com espessura constante, a transmitância térmica total ( $U$ , em W/(m<sup>2</sup>.K)) é dada pela equação (ABNT, 2005c):

$$U = \frac{1}{R} \quad (2.5)$$

$R$  é a resistência térmica total da lâmina, em ((m<sup>2</sup>.K)/W), dada pela seguinte equação:

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \quad (2.6)$$

Em que:

$\lambda$  = condutividade térmica do material (W/m.K);

$e$  = espessura do material (m);

$h_i$  = coeficiente superficial interno de transmissão de calor.  $\Leftrightarrow h_i = 7,7$  W/(m<sup>2</sup>.K) (ABNT, 2005c);

$h_e$  = coeficiente superficial externo de transmissão de calor.  $\Leftrightarrow h_e = 25,0$  W/(m<sup>2</sup>.K) (ABNT, 2005c).

ASHRAE (1993) *apud* Caram (1998) e Santos (2002) estabeleceram o termo  $N_i$  para determinar a quantidade de energia absorvida e reirradiada para o interior. Caram (1998) despreza o termo ( $e / \lambda$ ) da Equação 2.6, devido à pequena espessura dos vidros utilizados nas janelas resultando em pequena resistência térmica.

$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \quad \Leftrightarrow \quad R = \frac{(h_i + h_e)}{(h_i * h_e)}$$

Substituindo na Equação 2.5;

$$U = \frac{1}{R} \quad (2.5) \Rightarrow U = \frac{(h_i * h_e)}{(h_i + h_e)} \quad (2.7)$$

$$U = \frac{(7,7 * 25)}{(7,7 + 25)}$$

$$U = 5,89 \text{ (W/(m}^2\text{.K))}$$

O termo  $N_i$  pode ser determinado a partir da Equação 2.7, isolando-se o termo  $\frac{U}{h_e}$ ;

$$U = \frac{(h_i * h_e)}{(h_i + h_e)} \Rightarrow \frac{U}{h_e} = \frac{h_i}{(h_i + h_e)}$$

$$N_i = \frac{h_i}{(h_i + h_e)} \quad (2.8)$$

$$N_i = 7,7 / (7,7 + 25) \quad N_i = 0,235$$

Substituindo na Equação 2.4;

$$F.S. = \tau + (N_i * \alpha)$$

$$F.S. = \tau + 0,235 * \alpha \quad (2.9)$$

Substituindo os valores de  $h_e$  na Equação 2.8, pode-se determinar os valores da fração reirradiada para o interior em função da velocidade do vento (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Valores de  $N_i$  em função da velocidade do vento.

Tipo de vento	Velocidade do vento (m/s)	$h_e$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$N_i$
Ar Calmo	0,1	8	0,49
Velocidade muito fraca	0,5	10	0,44
Velocidade fraca	1	13	0,37
Velocidade média	3	21	0,27
Velocidade forte	9	35	0,18
Velocidade muito forte	18	50	0,13

Fonte: Frota e Schiffer (2003).

O coeficiente de transmissão superficial de calor por convecção depende basicamente da velocidade do ar junto à superfície da janela. O valor de  $N_i$  depende de  $h_e$  e  $h_i$  e estes das temperaturas dos meios externos e internos; das velocidades do vento dentro e fora, próximo à superfície do vidro e das emissividades das superfícies envolvidas nas trocas de calor (CARAM, 1998). Caram (1998) e Alucci (2005) adotaram de forma genérica o valor de  $N_i$  igual a um terço da porcentagem da absorção.

### 2.4.3 Ganho de Calor Solar

Ganho de Calor Solar (G.C.S. =  $q$ ), ou seja, a transmissão total da radiação é definida como a soma do Fator Solar e a da transferência de calor devida à diferença de temperatura entre o ar do ambiente externo e o ar do ambiente interno (SANTOS, 2002).

$$q = FS * (I_g) + U * (t_e - t_i) \quad (2.10)$$

Onde:

$q$  = ganho de calor através do vidro ( $W/m^2$ );

FS = Fator Solar;

$I_g$  = intensidade da radiação solar incidente ( $W/m^2$ );

U = transmitância térmica do material em estudo ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ );

( $t_e - t_i$ ) = diferença entre a temperatura do ar externo e interno ( $^\circ C$ ).

### 2.4.4 Coeficiente de Sombreamento

Coeficiente de Sombreamento (CS) é definido como o quociente entre o Fator Solar do componente transparente estudado e o Fator Solar de um vidro plano incolor de 3 mm de espessura ( $FS_t = 0,87$ ) (ABNT, 2005b).

$$CS = FS_{Ve} / FS_t \quad (2.11)$$

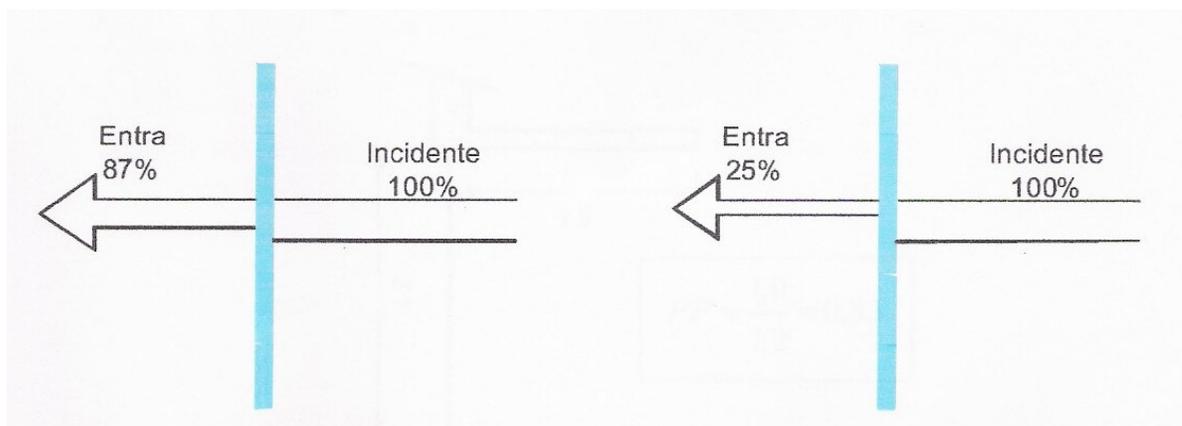
Onde:

CS = Coeficiente de Sombreamento;

$FS_{Ve}$  = Fator Solar do componente transparente estudado;

$FS_t$  = Fator Solar do vidro plano incolor de 3mm.

Os vidros com baixo CS geram edifícios confortáveis termicamente e energeticamente mais eficientes. Cuidados devem ser tomados, no entanto, pois geralmente um baixo CS está associado a uma baixa transparência à luz natural. Segundo Miana (2005) quanto menor for o coeficiente maior proteção o vidro oferece. A Figura 2.6 exemplifica esse comportamento.



Vidro claro 3mm (comum)  
CS = 1,00

Vidro com superfície tratada  
CS = 0,29

Figura 2.6 – Exemplo da representação do coeficiente de sombreamento.

Fonte: Signor (1999).

## 2.5 MATERIAIS TRANSPARENTES

### 2.5.1 Vidro

O vidro é um material amplamente utilizado na arquitetura mundial para fechamento das aberturas. Aberturas estas que variam desde janelas típicas à grandes fachadas, permitem luz natural no edifício, comunicação visual e uma carga reduzida na estrutura (KONTOLEON; BIKAS, 2002). Com o progresso da arquitetura e com avanço de tecnologias para produção de grandes painéis, o vidro passou a ser utilizado em áreas e locais que antes era impossível se imaginar (KRASNOPOL'SKII, 2005). Estas aplicações ocorreram principalmente nos países desenvolvidos. A seleção do tipo de vidro, bem como também sua proporção para a área total de parede é muito importante para alcançar um ambiente desejável em recinto fechado.

West (1990) apud Santos (2002) cita que o vidro de sílica pura possui excelentes qualidades, no entanto sua produção é muito cara devido a sua alta temperatura para ocorrer uma fusão homogênea do material (~ 1600°C). A introdução de óxidos modificadores de cadeia, como o óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O) reduz a energia de ativação requerida para a movimentação atômica necessária à fluidez do vidro líquido, baixando a temperatura de fusão para ~ 800°C, mas resultando um vidro de baixa qualidade, solúvel em água e sujeito à devitrificação. Outros óxidos, como o CaO, MgO e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são adicionados aumentando a resistência química.

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa a base de sílica em fusão. Os principais componentes dos vidros para janelas são: sílica (SiO<sub>2</sub>), matéria prima básica (areia) com função vitrificante; alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), aumenta a resistência mecânica; magnésio (MgO), garante resistência ao vidro para suportar mudanças bruscas de temperatura e aumenta a resistência mecânica; cálcio (CaO), proporciona estabilidade ao vidro contra ataques de agentes atmosféricos; potássio (K<sub>2</sub>O) e sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Os vidros coloridos são produzidos acrescentando-se à composição corantes como o selênio (Se), óxidos de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e de cobalto (Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) para atingir as diferentes cores (CEBRACE, 2006).

A composição básica e suas respectivas percentagens do vidro *float* incolor é apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Composição do vidro *float* incolor.

Componente	Percentagens (%)
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	72,00
Sódio (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	14,00
Cálcio (CaO)	9,00
Magnésio (MgO)	4,00
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,70
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,30

Fonte: Cebrace (2006).

A coloração característica dos diversos elementos transparentes está relacionada à absorção e emissão de energia no espectro visível, pois a absorção de determinado comprimento de onda dentro do espectro visível faz com que a cor observada seja resultante da combinação dos comprimentos de onda transmitidos e reemitidos (PINATTI, 1999).

Para o vidro comum incolor o coeficiente de absorção não varia muito para os diversos comprimentos de onda dentro do espectro visível. Portanto, a incorporação ao vidro de uma percentagem de determinado elemento, escolhido pelo valor de seus níveis de energia eletrônicos, tem a intenção de causar uma absorção seletiva em determinada faixa de comprimento de onda, acarretando a coloração do material. Uma grande variedade de cores é obtida com a adição de pequena percentagem (menos de 1%) de óxidos. A Tabela 2.5 mostra alguns agentes de coloração utilizados para dar cor ao vidro.

Tabela 2.5 - Agentes químicos utilizados para dar cor aos vidros.

Agente de coloração	Estado de oxidação	Coloração final
Cobre	$\text{Cu}^{2+}$	Azul claro
Cromo	$\text{Cr}^{3+}$	Verde
	$\text{Cr}^{6+}$	Amarelo
Manganês	$\text{Mn}^{2+}$	Marrom
	$\text{Mn}^{3+}$	Roxo
	$\text{Mn}^{4+}$	Preto
Ferro	$\text{Fe}^{2+}$	Azul
	$\text{Fe}^{3+}$	Verde
Cobalto	$\text{Co}^{2+}$	Azul
	$\text{Co}^{3+}$	Verde
Níquel	$\text{Ni}^{2+}$	Marrom, amarelo, verde, azul a violeta
Vanádio	$\text{V}^{3+}$	Verde, em vidros silicatos e marrom e vidros boratos
	$\text{V}^{4+}$	Vermelho
Titânio	$\text{Ti}^{3+}$	Roxo
Neodímio	$\text{Nd}^{3+}$	Violeta-amarelo
Praseodímio	$\text{Pr}^{3+}$	Verde claro
Ouro	$\text{Au}^0$	Rubi
Cadmo	$\text{CdS}$ , $\text{CdSe}$	Laranja

Fonte: Santos (2002); Alves et al. (2001).

Pode-se classificar o vidro em três gerações: o comum incolor cumpre apenas seu papel de fechamento, deixando passar luz e calor; os coloridos têm grande capacidade de absorção dos raios infravermelhos; e os metalizados que refletem boa parcela da radiação solar.

Essas três gerações do substrato podem ser combinadas entre si e com as películas de polivinil butiral (PVB), dando origem a grande variedade de laminados, próprios para cada tipo de aplicação e com diferentes capacidades para transmitir, refletir e absorver a radiação solar.

Quando se pretende usar o vidro como barreira contra o calor, a tendência atual é procurar vidros com índices de transmissão na faixa entre 20% e 30%. O mercado oferece opções a partir de 8%. A escolha depende de variáveis, mas é necessário saber que porcentagens mais elevadas permitem a passagem de maior quantidade de calor, enquanto índices muito baixos têm o inconveniente de escurecer demais os ambientes, forçando o acionamento de iluminação artificial mesmo em dias claros e ensolarados (ALUCCI, 2005).

Processos industriais de laminação e metalização têm colocado no mercado vidros com desempenho para as mais diversas solicitações, em fachadas e coberturas. Eles garantem segurança e melhoram os níveis de conforto térmico e visual no interior das construções. Podem ainda manter a transparência, abrindo a construção para o exterior. A atenção deve ser redobrada quanto à especificação do tipo mais adequado. Os processos de industrialização dos vidros mais usados na construção civil são:

✓ **Float** - É a matéria-prima que dá origem aos temperados, laminados, insulados, serigrafados e espelhos. Produzido com espessuras que variam de 3 a 19 mm. A diferença entre o vidro Impresso ou Fantasia e o vidro *float*, está na qualidade óptica proporcionada pelo processo *float*. Embora as matérias-primas sejam as mesmas, o *float* apresenta um índice de deformação e ondulação de suas superfícies muito inferior ao do vidro fabricado pelo processo convencional. O esquema do processo de produção é apresentado na Figura 2.7.

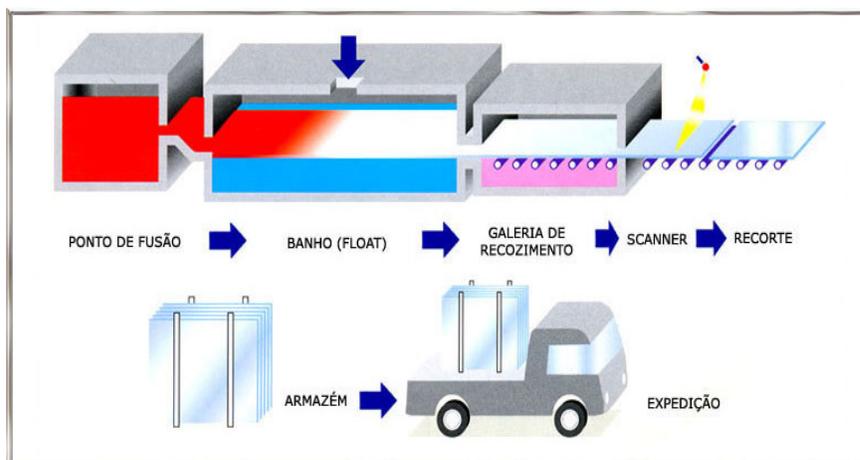


Figura 2.7 – Esquema de produção do vidro *float*.

Fonte: Cebrace (2006).

Os estágios do processo de produção são (CEBRACE, 2006):

– Forno de Fusão - A mistura de areia com os demais componentes do vidro são dirigidas até o forno de fusão através de correias transportadoras. Com a temperatura de até 1600°C, a composição é fundida, afinada e condicionada termicamente, transformando-se numa massa homogênea.

– Banho *Float* - O vidro líquido é vertido sobre o estanho fundido a cerca de 1000°C, em um processo chamado *Float Bath* (Banho *Float*). Devido à diferença de densidade entre os materiais, o vidro flutua sobre o estanho, ocorrendo um paralelismo entre as duas superfícies. Essa é a condição para que a qualidade óptica superior do vidro *float* seja atingida. A partir desse ponto é determinada a espessura do vidro, através da velocidade da linha. Quanto maior a velocidade, menor a espessura resultante.

– Galeria de Recozimento - Em seguida a folha de vidro entra na galeria de recozimento, onde será resfriada controladamente até aproximadamente 120°C e, então, preparada para o recorte. Após o recozimento o processo termina com o vidro apresentando superfícies polidas e paralelas.

– Inspeção Automática – Antes de ser recortada, a folha de vidro é inspecionada por um *scanner*, que utiliza um feixe de raio laser para identificar eventuais falhas no produto. Caso haja algum defeito decorrente da produção do vidro, ele será refutado e posteriormente reciclado.

– Recorte, empilhamento e armazenagens - O recorte é realizado em processo automático e em dimensões pré-programadas. As chapas de vidro são empilhadas em pacotes prontos para serem expedidos ou armazenados.

✓ **Vidro Impresso (Fantasia ou Fosco)** - O Vidro Plano Impresso é popularmente conhecido como "vidro fantasia". Este é um produto aplicado em janelas e divisórias, onde se deseja a passagem de luz, sem, entretanto, permitir que se enxergue através dele, mantendo a privacidade do ambiente. Por ser produzido em diversas combinações de cores e padrões (desenhos), é muito aplicado também com finalidade decorativa. O processo de fabricação consiste na passagem do vidro já elaborado, na saída do forno, em torno de 1200°C, entre dois rolos metálicos e refrigerados com água corrente em seu interior, que ao mesmo tempo o conformam e o esfriam. O rolo superior é liso ou, em alguns casos, com uma estampa bem delicada, e o inferior é o que efetivamente imprime o padrão desejado ao vidro. A espessura do vidro é determinada pelo espaçamento entre os dois rolos laminadores.

✓ **Refletivos** – São denominados de vidros de controle solar, com três funções básicas: melhorar o controle da insolação; maior controle visual e efeito estético requintado

(CARAM, 1998). São produzidos tendo como base o vidro *float* incolor ou colorido, sendo depositada em uma de suas faces uma camada de óxido metálico. Esta camada metálica pode ser aplicada por dois processos, a vácuo e a pirólise.

Os vidros refletivos a vácuo são produzidos por pulverização catódica no campo eletromagnético e câmara a vácuo, com impulso de metal e óxidos metálicos. Segundo Cledwin (1993) apud Santos (2002) em uma câmara com vácuo, parcialmente ocupada com gás (argônio, oxigênio ou nitrogênio), chapas de vidro cortadas movem-se sobre cilindros, sendo posicionadas sob uma placa do metal a ser depositado, de tamanho similar ao vidro. Com alta voltagem, são produzidos, elétrons de alta energia entre o vidro e a placa, formando íons de carga positiva no gás que colidem com a placa do metal ejetando átomos do mesmo, que então se projetam e condensam na superfície do vidro, formando uma camada metálica. Um campo magnético permanente sobre a chapa de metal aumenta a velocidade de deposição dos átomos metálicos assegurando uniformidade da camada.

A pirólise é o processo no qual óxidos metálicos são fundidos em alta temperatura e seu englobamento na superfície das placas ocorre através de sistemas de bocais que pulverizam aerossol, contendo óxido e o gás transportador, diretamente e em continuidade na linha de produção (ALLENDORF, 2001).

O vidro refletivo pode ser laminado, insulado, serigrafado ou temperado. Porém, são necessários alguns cuidados em situações especiais: os vidros que passam pelo processo a vácuo não podem ser temperados e o processo de serigrafia deve ser feito antes do depósito dos óxidos. Os refletivos pirolíticos podem ser temperados e serigrafados após o processo de pirólise (SANTOS, 2002).

A camada refletiva acentua o grau de reflexão em uma das faces do vidro, fazendo com que, durante o dia, a visão da parte interna seja superior à externa. Durante a noite, ocorre inversão da iluminação, e o fenômeno muda de sentido.

✓ **Laminados** - São fabricados com duas ou mais chapas de vidro. Existem hoje dois processos de laminação: a com resina e a com película plástica (PVB). O processo mais utilizado é com PVB. As placas de vidro são unidas com calor e sob pressão (autoclavados), com uma ou mais películas de material plástico de alta resistência e elasticidade, o PVB (Polivinil butiral). Possuem propriedades que garantem segurança às fachadas, coberturas e guarda-corpos, de modo que, quando quebradas, mantém os estilhaços aderidos à película. Na Figura 2.8 é apresentado um exemplo do esquema para montagem do vidro laminado.

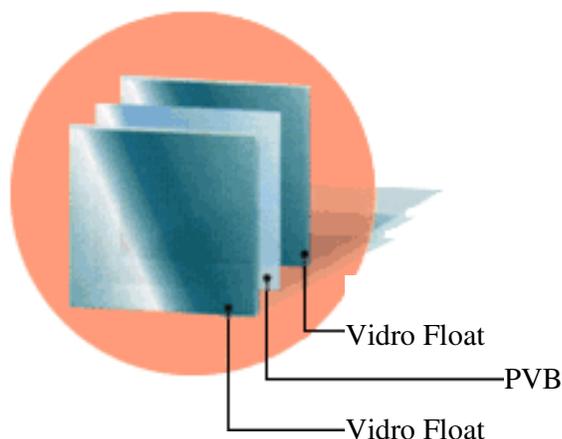


Figura 2.8 - Esquema do vidro laminado.

Fonte: Cebrace (2006).

### 2.5.2 Películas de proteção solar

O vidro é deficiente quanto ao isolamento de energia, pois permite a entrada da luz e do calor do sol diretamente sobre o ambiente, tornando-o incômodo, danificando objetos e muitas vezes interferindo na saúde das pessoas. Outro problema é a facilidade com que o vidro se quebra, produzindo estilhaços pontiagudos e cortantes. As películas de controle solar foram desenvolvidas para serem aplicadas em áreas envidraçadas, com a finalidade de reduzir a carga térmica do local, provocada pela incidência da radiação solar e reter o vidro estilhaçado dentro da área da moldura, reduzindo ao mínimo o risco de danos às pessoas.

As películas desenvolvidas para vidros destinados à indústria da construção civil são, basicamente, de dois tipos: filmes de polivinil butiral (PVB), utilizados para laminação, e de poliéster, aplicados na superfície.

Existem diversas linhas de películas que podem oferecer combinações de proteção solar, isolamento, privacidade, decorativa e UV (INSULFILM, 2006):

- Linha Decorativa - é uma linha desenvolvida para atender a necessidade de quem precisa enriquecer a estética de ambientes, Permitem, criam também efeitos de privacidade.
- Linha Design - desenvolvida para dar leves tons a vidros incolores e controlar moderadamente o calor.
- Linha UV - desenvolvida para atender a necessidade de quem precisa bloquear os raios UV, mantendo o vidro incolor.

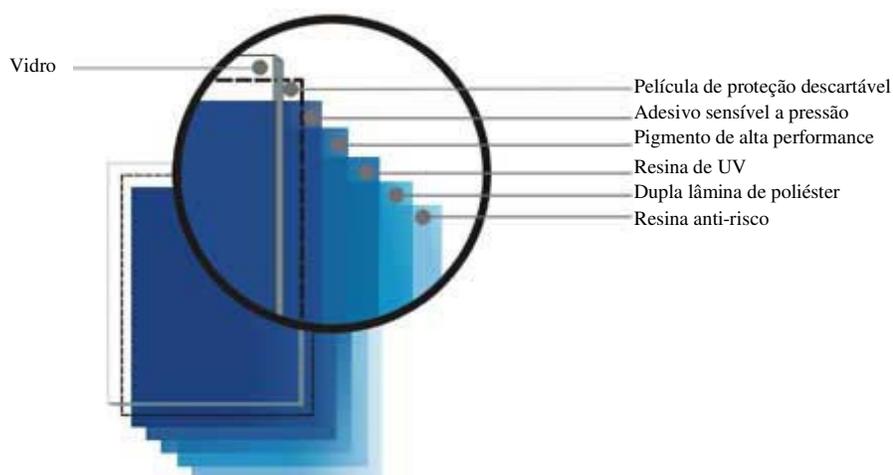
– Linha Isolante - foi desenvolvida para atender a necessidade de quem precisa obstruir totalmente a luminosidade ou isolar ambientes de forma moderada ou por completo em ambos os lados.

– Linha Privacidade - desenvolvida para atender a necessidade de quem precisa de privacidade com controle visual, ou seja, visualizar outro ambiente sem ser visto.

– Linha Conforto – foi desenvolvida para atender a necessidade de quem precisa atenuar os efeitos causados pelo calor excessivo, através da reflexão.

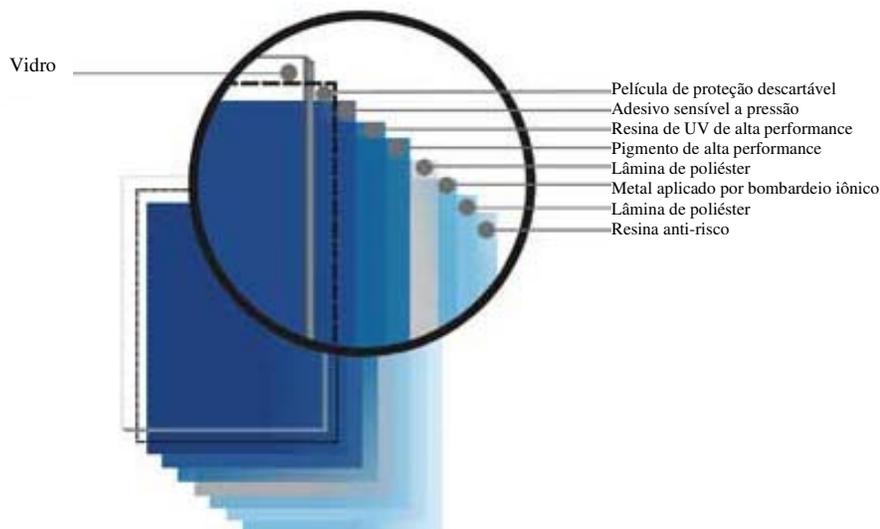
O que muda na composição das películas são as camadas internas, as camadas pigmentadas e as camadas metálicas. As demais camadas são comuns a todas as películas que são constituídas de um filme fino resistente e transparente de poliéster (0,025 a 0,05mm) sobre o qual é depositada uma camada de adesivo transparente, ativado por água e pressão, para que seja colado ao vidro. São aplicadas resinas anti-risco para garantir a durabilidade e de UV para reduzir a transmissão de energia nesta faixa do espectro solar, buscando prevenir a descoloração de objetos no interior das construções.

Nesta pesquisa foram estudadas as películas de privacidade (comercialmente conhecidas por GX – onde X representa o fator de proteção) e as películas de conforto (comercialmente conhecidas por películas refletivas). Nas Figuras 2.9 e 2.10 são apresentadas as composições básicas das películas de privacidade e de conforto.



Figuras 2.9 – Composição básica das películas de privacidade.

Fonte: Insulfilm (2006).



Figuras 2.10 – Composição básica das películas de conforto.

Fonte: Insulfilm (2006).

As propriedades óticas variam de acordo com sua espessura, com a densidade da camada metálica, com o tipo de adesivo e ainda com a cor do filme que é colado sobre o filme base (SANTOS, 2002).

Quando há necessidade de modificação nas características óticas de vidraças existentes, recomenda-se a aplicação de películas para diminuir ganho de calor e/ou claridade, para evitar danos causados pelo UV ou para obter privacidade. James e Bahaj (2005) estudaram várias alternativas para implantar um sistema de proteção solar em um edifício considerado “doente” revestido em vidro na universidade de Southampton, no Reino Unido, onde os efeitos da alta luminosidade deveriam ser eliminados e reduzir a carga térmica onde a temperatura regularmente excedia a 30°C, havia necessidade de tomar medidas corretivas para o ambiente. A aplicação de películas de proteção solar obteve um bom desempenho, reduzindo a temperatura e a luminosidade.

Devido à baixa resistência mecânica os fabricantes recomendam sua utilização na face interna do vidro. A garantia oferecida fica em média de cinco anos.

### 2.5.3 Propriedades térmicas dos vidros e películas

Os vidros são materiais transparentes às radiações visíveis e que permitem a iluminação natural do espaço interior e estabelecem uma conexão visual com o exterior

(RIVERO, 1985; FOREGGER, 1997). Porém, podem gerar problemas térmicos, acústicos e econômicos.

Um corpo transparente ao receber energia radiante, reage seletivamente, o que significa que a quantidade de energia que absorve, reflete ou transmite, depende do comprimento de onda do raio incidente, das propriedades do material, da cor, da espessura e do ângulo de incidência. O ângulo de incidência é definido sempre em relação à normal.

A transmissão máxima ocorre a  $0^\circ$  e a medida que o ângulo de incidência aumenta a transmissão de luz diminui (Figura 2.11). A partir de  $60^\circ$  a quantidade de radiação incidente que é transmitida diretamente diminui muito, pois o coeficiente de reflexão passa a aumentar, ou seja, quanto maior o ângulo de incidência, maior a porcentagem de radiação refletida.

O coeficiente de reflexão do vidro depende basicamente do ângulo de incidência conforme mostrado na Figura 2.11, e também do índice de refração do vidro. Para os vidros utilizados na construção civil, considera-se o índice de refração  $n = 1,5$ . Segundo Caram (1998) o índice de refração é sempre o mesmo para vidros utilizados em fachadas.

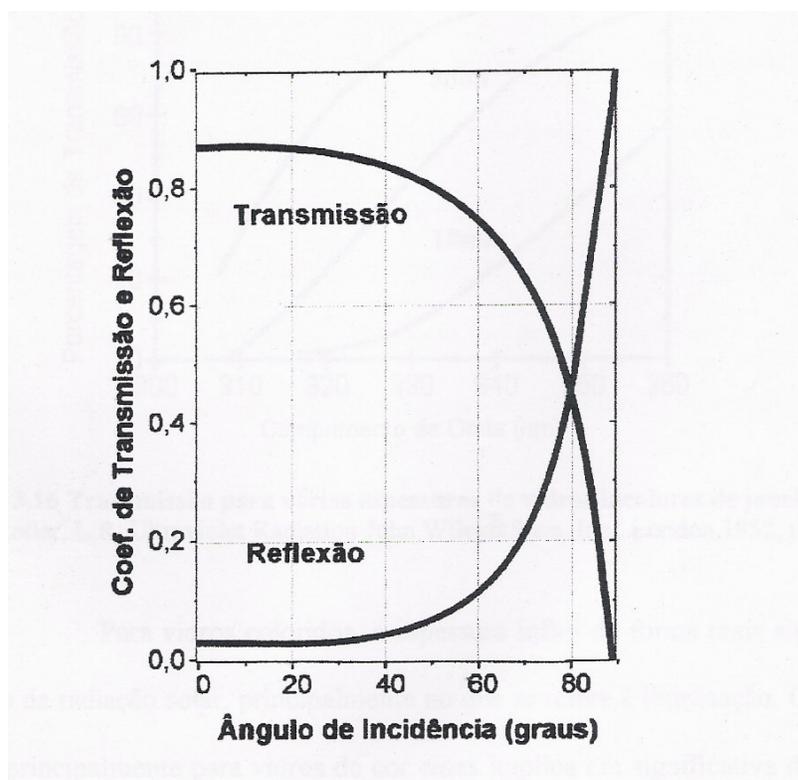


Figura 2.11– Coeficiente de transmissão e reflexão em função do ângulo de incidência.

Fonte: Van Straaten (1967) apud Caram (1998).

Quanto maior a espessura do vidro, menor será a transmissão devido a absorção que ocorre no material. A energia absorvida pelo vidro é dissipada na forma de ondas longas para o exterior e para o interior do ambiente, em proporções que dependem das condições ambientais (MIANA, 2005).

A adição de óxidos à composição dos vidros pode causar absorção para determinadas regiões do espectro solar. Os óxidos podem acentuar o coeficiente de absorção do material, reduzindo a transmissão da radiação e atenuando a radiação absorvida pelo vidro, resultando aumento da temperatura do material.

Os vidros são transparentes à radiação de ondas curtas e médias e opacos à radiações de ondas longas. As radiações de ondas curtas e médias têm comprimento de onda inferior a 3.000 nm. Exemplos destas radiações são: luz e calor emitidos pelo sol. O calor emitido pelos ocupantes e pelos elementos que existem dentro da edificação emitem onda longa (FERNANDES, 2003), e por isso não passam pelo vidro, que o reflete de volta ao ambiente. Por isso, os vidros das janelas criam um “efeito estufa” dentro da edificação, ou seja, deixam penetrar a radiação de ondas curtas e médias, mas não permitem a saída de radiação de onda longa.

## 2.6 MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS DE ANÁLISE

A análise espectrofotométrica é o método recomendado por Caram (1996, 1998), Santos (2002), Nijnatten (2002) e Castro (2003) para a determinação das propriedades ópticas, para as medidas da transmitância e refletância em materiais empregados na construção civil.

Esta análise é pertinente uma vez que a performance dos vidros afeta a eficiência energética do edifício, em que uma escolha equivocada pode aumentar substancialmente o consumo de energia para resfriamento.

### 2.6.1 Princípio de funcionamento

A espectrofotometria é o processo instrumental de medição onde o princípio de funcionamento é deixar incidir luz em uma molécula, e detectar como a molécula se comporta com a presença da luz (HARRIS, 2001). Decompõe a luz em diferentes comprimentos de onda. O processo de medição é baseado nas propriedades de absorção, transmissão e reflexão

de energia eletromagnética em alguma região do espectro eletromagnético, ou seja, é um arranjo ordenado das radiações conforme seus comprimentos de onda.

Os limites da radiação ultravioleta são considerados como sendo entre 100 e 380 nm. A porção do espectro percebida pelo olho humano (região visível) está compreendida entre comprimentos de onda de 380 e 780 nm e, acima desse limite, até cerca de 50.000 nm (faixa entre as regiões do visível e das microondas), a radiação é chamada infravermelha (IV).

Os espectrofotômetros registram dados de absorção, transmissão e reflexão, consistindo de uma fonte de luz cujo feixe de luz se propaga por sucessivas reflexões num banco ótico, sendo dispersada por uma rede de difração, de onde o comprimento de onda desejado é selecionado, o feixe incide na amostra. No ensaio de transmissão após atravessar a amostra o detector converte a energia radiante em sinal elétrico e o dispositivo de leitura fornece os dados. Para a leitura de reflexão é usado um espelho que direciona o raio refletido pela amostra devolvendo-o para o detector e para o dispositivo de leitura (SKOOG, 2002). Um esquema de funcionamento de um espectrofotômetro é descrito pela Figura 2.12.

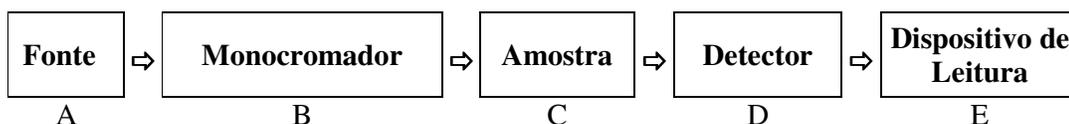


Figura 2.12 – Esquema de funcionamento de um espectrofotômetro.

Fonte: (FARIA; SOUZA, 2006).

Onde:

A - Uma fonte de energia radiante deve gerar radiação contínua e estável na região espectral de interesse.

As fontes de radiação ultravioleta mais usadas são as lâmpadas de descarga de hidrogênio ou deutério.

As fontes de radiação visível são as lâmpadas com filamento de tungstênio, a faixa espectral de operação é de 380 a 3000 nm.

As fontes de radiação em infravermelho são o emissor de Nernst e o Globar. A faixa útil se estende de 400 a 20.000 nm.

B - Monocromador é um dispositivo que permite isolar a faixa espectral de interesse e restringe as radiações desnecessárias. O monocromador é composto por:

- fendas de entrada e saída para focalizar a radiação específica e controlar a radiação emitida pelo monocromador, e restringir as radiações desnecessárias;
- lentes e espelhos para focalizar a radiação;
- elementos de resolução que isolam o comprimento de onda da radiação.

C - Um módulo de recipiente para a amostra.

D - Um detector que converte a energia radiante em sinal elétrico.

E - Um dispositivo para medir a grandeza do sinal elétrico, registram as leituras de transmitância e reflectância.

A reflexão de uma radiação ocorre sempre que os raios luminosos encontram a superfície de separação entre dois meios, sendo o primeiro transparente e um segundo qualquer. Admitindo-se que o primeiro meio seja o ar e o segundo uma substância sólida, podem ocorrer três tipos casos de reflexão (CASTRO, 2002):

1° – a superfície é áspera ou micro-ondulada, como o papel, o gesso, uma parede, etc. O raio luminoso se decompõe em todas as direções, tornando-se impossível determinar a direção da incidência luz. Diz-se então que a superfície é fosca e que a luz refletida é difusa. Exemplo: quando você está enxergando uma mesa, você pode ficar em qualquer posição ao redor da mesa que continua a enxergando. Isso acontece porque os raios estão sendo refletidos em todas as direções. Esse tipo de reflexão ocorre em superfícies irregulares microscopicamente;

2° – a superfície é despolida, mas lisa. O raio de luz incidente decompõe-se em um fecho luminoso que tem uma direção geral segundo a lei de reflexão, mas essa direção é pouco precisa, havendo uma predominância na direção da reflexão. Não é possível perceber imagem nítida nesse tipo de reflexão;

3° – a superfície é polida ou espelhada. O raio luminoso reflete-se parcialmente, e parte pode ser absorvida e/ou transmitida. O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência da radiação. Na construção de um gráfico de reflexão R, plota-se a fração da energia radiante incidente que é refletida, versus o comprimento de onda, é fornecido um espectro semelhante na aparência a um espectro de transmissão. Exemplo: estando diante de um espelho, pode-se observar que, se o observador não ficar em uma determinada posição, não vai conseguir enxergar a sua imagem. Isso acontece porque os raios são refletidos em uma única direção, ou seja, eles são paralelos entre si. Esse tipo de reflexão ocorre em superfícies polidas tais como espelhos, metais, a água parada de um lago, e é denominada reflexão especular.

Neste trabalho, as amostras possuíam superfícies lisas e polidas, a reflexão especular foi a indicada. Os espectrofotômetros são automatizados, facilitando a operação, obtenção e manipulação dos resultados.

A obtenção da parcela refletida é utilizada no cálculo da parcela absorvida pelo vidro, juntamente com as medidas dos valores de transmissão, tendo em vista que a soma dessas três parcelas é igual a 100% da radiação incidente.

### **2.6.2 Análise espectrofotométrica na caracterização de materiais para a construção civil**

A primeira pesquisa no Brasil utilizando a análise espectrofotométrica foi desenvolvida por Caram (1996) em seu mestrado, intitulado “Vidros e o conforto ambiental: indicativos para o emprego na construção civil”, realizado na Universidade de São Paulo – USP, na Escola de Engenharia de São Carlos. Foram analisadas vinte amostras, utilizaram-se vidros incolores, coloridos, refletivos e laminados. Os ensaios foram de transmissão da radiação nos intervalos do ultravioleta, visível e infravermelho para o ângulo de incidência normal. O espectro de trabalho foi de 300 a 2.500 nm.

Dando continuidade à sua pesquisa, Caram (1998), no seu doutorado intitulado “Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações”, desenvolvido na Universidade Estadual de Campinas, na Faculdade de Engenharia Civil, analisou vinte e três amostras, incluindo vidros refletivos, vidro eletrocromico, policarbonatos e películas de controle solar. Analisou-se a transmissão no intervalo de 300 a 2.200 nm com incidência normal.

Santos (2002), em seu doutorado intitulado “Desempenho térmico e visual de elementos transparentes à radiação solar”, desenvolvido na Universidade de São Paulo – USP, na Escola de Engenharia de São Carlos, analisou sessenta amostras, sendo sete float, quatorze de vidros laminados, dezenove de vidros refletivos, quatorze películas de controle solar, cinco de policarbonato e uma de acrílico. Variou-se o ângulo de incidência de 10 a 80° com a normal. O intervalo do espectro medido foi de 300 a 2.000 nm. Foram realizados ensaios de transmissão e reflexão das amostras.

Castro (2002) analisou a reflexão difusa em trinta e sete cores de tinta na pesquisa de seu mestrado intitulado “Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica”, pesquisa desenvolvida na Universidade Estadual de Campinas, na Faculdade de Engenharia Civil, onde estudou-se a atenuação do ganho de calor solar através da escolha adequada da cor da externa. O intervalo de trabalho foi de 300 a 2.500 nm.

Ferreira (2003) pesquisou em seu mestrado intitulado “Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil”, realizado no Departamento de Engenharia de Construção Civil, da Escola Politécnica da USP, as características espectrais de telhas utilizadas em coberturas de edifícios, onde buscava-se materiais com elevado albedo, pois estas transferem menor quantidade de calor para o interior da edificação. Os materiais estudados foram: cerâmica vermelha e branca, fibrocimento sem amianto, alumínio com e sem pintura, aço galvanizado com e sem pintura, metal com banho de alumínio e zinco, metal termo acústico nas cores alumínio, verde, branco e cerâmica, cimento colorido nas cores cinza claro, cinza escuro, vermelho, ocre, com e sem resina. O espectro de trabalho foi de 290 a 2.500 nm e foi analisado a reflexão difusa.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 VIDROS

As amostras dos vidros estudados no presente trabalho foram coletados junto às três principais indústrias que atendem a demanda comercial da região metropolitana do município de Goiânia. Ambas trabalham com produtos da CEBRACE - Companhia Brasileira de Cristal, *joint-venture* entre o grupo inglês Pilkington, detentor da marca Blindex e o grupo francês Saint-Gobain, detentor das marcas Saint-Gobain *Glass* e Santa Marina-Vitrage (CEBRACE, 2006).

O objetivo deste estudo ficou no âmbito acadêmico, buscou-se mostrar o emprego da técnica espectrofotométrica para análise de vidros e sua relação com o conforto térmico e não uma comparação entre as marcas.

As amostras das películas estudadas foram adquiridas junto aos comerciantes do setor. Pesquisou-se quais as marcas existentes e as mais aplicadas na construção civil. Fez-se uma pesquisa das cores que eram mais vendidas, definiu-se então marcas e cores recomendadas para o emprego na construção civil.

##### 3.1.1 Corte e preparação das amostras

As amostras dos vidros foram cortadas e polidas por um técnico especializado de uma vidraçaria. Para a aplicação das películas, prepararam-se os vidros nas espessuras desejadas, de forma a representar uma situação de uso, com as dimensões necessárias para ajuste nos aparelhos, aplicando-se então, a película no vidro cortado.

Para adaptação das amostras nos suportes dos espectrofotômetros foram preparados três conjuntos de amostras, onde as dimensões necessárias das amostras para realização dos ensaios foram:

- amostra (a) – 1,2 x 5,5 cm – Espectrofotômetro modelo Lambda 25, marca PerkinElmer do Centro de Pesquisas em Alimentos da Universidade Federal de Goiás - UFG, para os ensaios de transmissão de 290 a 1.100 nm;
- amostra (b) – 2,2 x 4,5 cm – Espectrofotômetro modelo Nir 900, marca Femto do Laboratório Nacional Agropecuário em Goiás do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - LANAGRO, para os ensaios de transmissão de 1.100 a 1.800 nm;

– amostra (c) – 3,5 x 4,3 cm – Espectrofotômetro modelo Lambda 9, marca PerkinElmer do Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, para os ensaios de reflexão.

A Figura 3.1 ilustra as dimensões das amostras preparadas. Nas demais figuras serão apresentadas amostras com dimensões 1,2 x 5,5cm.

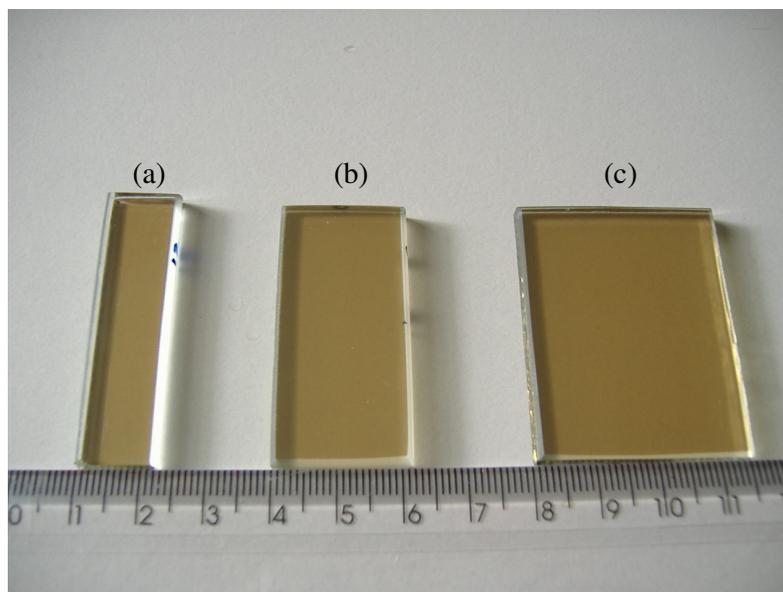


Figura 3.1 – Dimensões das amostras preparadas para análise.

Após a preparação das amostras elas foram lavadas com água e detergente neutro, secas e armazenadas, teve-se o cuidado de revesti-las com tecido para evitar que uma pudesse danificar a outra.

Para uma compreensão mais detalhada dos resultados, as amostras foram separadas em grupos por tipo de material. Na Tabela 3.1 encontram-se os dados dos vidros incolores analisados neste estudo.

Tabela 3.1 – Vidros incolores.

<b>Tipo de material</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Denominação Comercial / Cor</b>	<b>Espessura vidro (mm)</b>
Vidro Incolor	VI 3 mm	Comum / incolor	3
	VI 4 mm	Comum / incolor	4
	VI 5 mm	Comum / incolor	5

Na Tabela 3.2 encontram-se os dados dos vidros laminados.

Tabela 3.2 – Vidros laminados.

Tipo de material	Código da Amostra	Denominação Comercial	Cor	Espessura vidro (mm)
Vidro Laminado	LM-01	BS 108	Ouro	3 + 3
	LM-02	114 VI	Verde	3 + 3
	LM-03	114 AI	Verde	3 + 4
	LM-04	114 PR	Prata	4 + 4
	LM-05	114 PN	Prata Neutro	4 + 4
	LM-06	BS 120	Azul	4 + 4
	LM-07	120 VI	Verde	4 + 4
	LM-08	130 VI	Verde	3 + 3
	LM-09	BS 130	Azul	4 + 4
	LM-10	Reflecta Float	Verde	4 + 4
	LM-11	Antélio	Bronze	4 + 4

Na Figura 3.2 são apresentadas amostras dos vidros laminados.

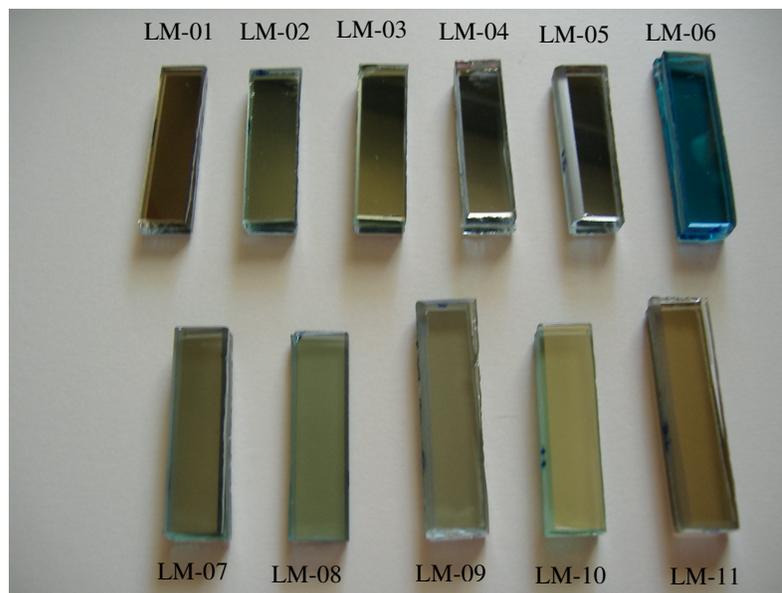


Figura 3.2 – Amostras dos vidros laminados.

Na Tabela 3.3 encontram-se os dados dos vidros refletivos monolíticos.

Tabela 3.3 – Vidros refletivos monolíticos.

Tipo de material	Código da Amostra	Denominação Comercial	Cor	Espessura vidro (mm)
Vidro Refletivo	RF-01	CEB 120	Azul	4
	RF-02	CEB 130	Cobre	3
	RF-03	CEB 130	Bronze	3
	RF-04	CEB 130	Bronze	4
	RF-05	CEB 140	Cobre	4

Na Figura 3.3 são apresentadas amostras dos vidros refletivos monolítico.

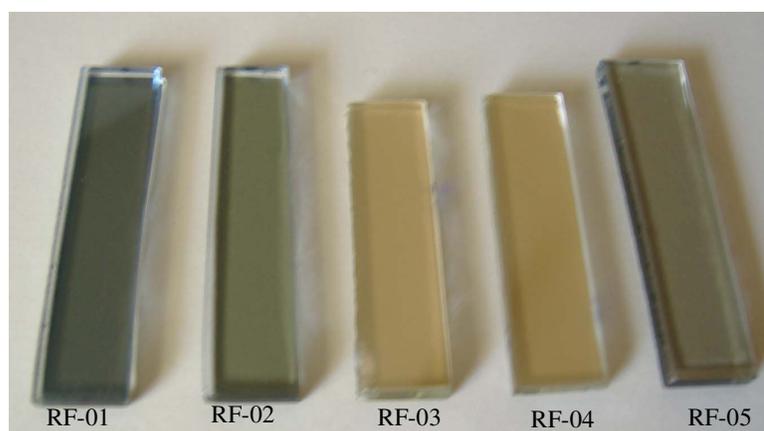


Figura 3.3 – Amostras dos vidros refletivos monolíticos.

Na Tabela 3.4 encontram-se os dados das películas de controle solar.

Tabela 3.4 – Películas de controle solar (privacidade).

Tipo de material	Código da Amostra	Fabricante / Fornecedor	Denominação Comercial	Cor	Espessura vidro (mm)
Película de Controle Solar	PC-01	Intercontrol	G5	Azul	4
	PC-02	Sun Tek	G5	Fumê	4
	PC-03	Intercontrol	G20	Azul	4
	PC-04	Sun Tek	G 20	Fumê	4
	PC-05	Solar Gard	G20	Fumê	4
	PC-06	Intercontrol	G50	Azul	4

Nota: As películas possuem espessura de 0,03mm, e foram aplicadas nos vidros incolores de 4 mm de espessura.

Na Figura 3.4 são apresentadas amostras das películas de controle solar (privacidade).

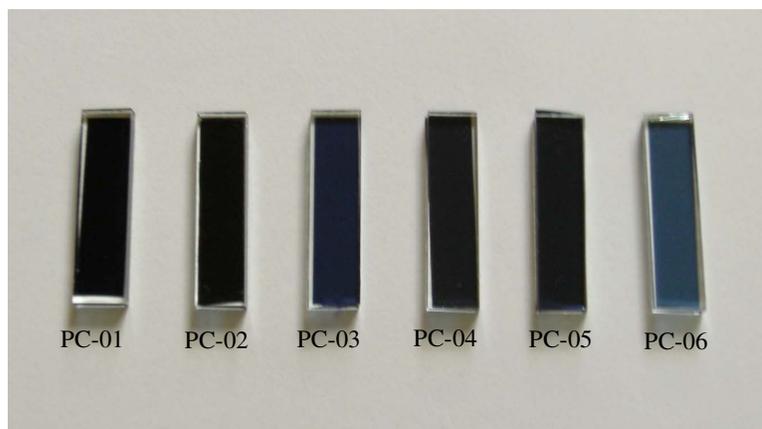


Figura 3.4 – Amostras das películas de controle solar (privacidade).

Na Tabela 3.5 encontram-se os dados das películas refletivas (conforto).

Tabela 3.5 – Películas refletivas (conforto).

<b>Tipo de material</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Fabricante / Fornecedor</b>	<b>Denominação Comercial / Cor</b>	<b>Espessura vidro (mm)</b>
Película Refletiva	PR-01	Intercontrol	Fumê	4
	PR-02	Sun Control	Fumê	4
	PR-03	Intercontrol	Prata	4
	PR-04	Sun Control	Prata	4
	PR-05	Solar Gard	Prata	4
	PR-06	Intercontrol	Bronze	4
	PR-07	Solar Gard	Bronze	4
	PR-08	Intercontrol	Azul escuro	4
	PR-09	Intercontrol	Azul	4
	PR-10	Intercontrol	Verde	4
	PR-11	Sun Control	Verde	4

Nota: As películas possuem espessura de 0,03mm, e foram aplicadas nos vidros incolores de 4 mm de espessura.

Na Figura 3.5 são apresentadas amostras das películas refletivas (conforto).

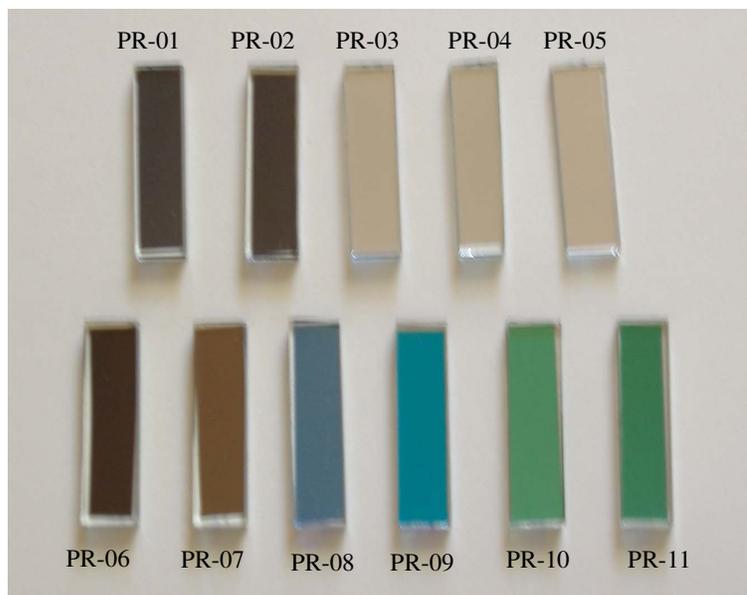


Figura 3.5 – Amostras das películas refletivas (conforto).

Os vidros incolores de 3 e 4 mm foram ensaiados preliminarmente com o intuito de comparar seus resultados com dados da literatura, para detectar possíveis erros de leitura e/ou nos equipamentos. Os valores encontrados nos ensaios foram próximos aos da literatura (CARAM, 1996, 1998; SIGNOR, 1999; SANTOS, 2002), permitindo-se, assim, a continuidade dos demais ensaios.

Durante o desenvolvimento do trabalho foi adotado o sistema internacional de unidades. Os valores de comprimento de onda foram expressos em nanômetros ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ), e os de transmissão e reflexão em porcentagem (%).

### 3.2 ANÁLISE ESPECTROFOTOMÉTRICA

A análise espectrofotométrica é o meio mais indicado para a obtenção das respostas que este tipo de trabalho busca (CARAM, 1998; CASTRO, 2003). O equipamento fornece como resultados as porcentagens de transmissão, reflexão e absorção do espectro solar. Os espectrofotômetros possuem microcomputador eletrônico embutido, que facilitam a operação, a obtenção dos resultados e a troca automática das lâmpadas durante a operação de medição.

Todas as amostras foram ensaiadas no intervalo de comprimento de onda de 290 a 1.800 nm, sendo feitas subdivisões, caracterizando as regiões do ultravioleta (290 a 380 nm), do visível (380 a 780 nm) e do infravermelho (780 a 1.800 nm). A proposta para este intervalo se deve ao fato de que a radiação solar terrestre encontra-se basicamente entre 290 nm e 1.800 nm (CHEREMISINOFF, 1974 apud CARAM 1998), pois, conforme já comentado, comprimentos de ondas superiores a este valor, atingem de forma bastante reduzida a superfície da Terra, sendo absorvidos pelo vapor de água e dióxido de carbono e os inferiores a 290 nm são absorvidos pela camada de ozônio.

Os ensaios deste trabalho desenvolveram-se em três etapas:

a) Na primeira etapa foi analisada a transmitância em espectrofotômetro pertencente ao Centro de Pesquisas em Alimentos (CPA) da Universidade Federal de Goiás, na Escola de Veterinária, modelo Lambda 25, marca PerkinElmer (Figura 3.6), cuja faixa espectral compreende o intervalo de 190 a 1.100 nm. O espectro trabalhado foi de 290 a 1.100 nm.



Figura 3.6 – Espectrofotômetro utilizado para ensaios de transmissão - espectro 290 a 1.100 nm.

b) Para complementar o espectro necessário a esta pesquisa realizou-se uma segunda etapa, onde foram feitas análises espectrofotométricas de transmitância, em espectrofotômetro no Laboratório Nacional do Ministério da Agricultura em Goiás – LANAGRO (Figura 3.7), modelo Nir 900 da Femto, cuja faixa espectral compreendem o intervalo de 1.100 a 2.500 nm. O espectro trabalhado foi de 1.100 a 1.800 nm.



Figura 3.7 – Espectrofotômetro utilizado para ensaios de transmissão - espectro 1.100 a 1.800 nm.

c) As análises espectrofotométricas de reflectância foram realizadas em uma terceira etapa no Instituto de Física "Gleb Wataghin" da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). O aparelho utilizado foi o modelo Lambda 9, da PerkinElmer (Figura 3.8), faixa de espectral 180 nm a 3200 nm. O intervalo de leituras foi de 290 a 1800 nm.



Figura 3.8 – Espectrofotômetro utilizado para ensaios de reflexão - espectro 290 a 1.800 nm.

### 3.2.1 Parâmetros de Trabalho

Os seguintes parâmetros foram estabelecidos nos ensaios de transmissão e reflexão:

- intervalo do espectro medido: 290 a 1800 nm;
- número de medidas dentro do espectro: 1.510 leituras, ou seja, a cada 1nm;
- velocidade de varredura: 480 nm/min;
- troca da lâmpada automática: 380 nm.

### 3.2.2 Ensaios espectrofotométricos

Para a realização da análise espectrofotométrica é recomendado que o equipamento seja ligado com antecedência mínima de uma hora para estabilização da corrente elétrica.

O equipamento tem diversas funções, no qual é necessário configurar os parâmetros desejados de trabalho, neste trabalho foi usado a varredura do espectro no intervalo desejado.

Após a preparação das amostras e configuração dos parâmetros estabelecidos para trabalho, onde as leituras eram obtidas em porcentagem de transmissão e reflexão, o material ensaiado foi colocado no compartimento para leitura e a leitura foi realizada com auxílio de programa instalado em um computador.

As amostras foram ensaiadas a  $0^\circ$  com a normal, ou seja, o feixe incide perpendicular a amostra, posição onde ocorre maior transmissão dos raios solares, situação mais crítica para a análise dos parâmetros de desempenho térmico dos vidros.

Os ensaios foram realizados em três etapas, onde foram tomados devidos cuidados para que fossem reproduzidas nas mesmas situações, ou seja, do mesmo lado.

Os vidros laminados que são montados com duas placas uma colorida e outra transparente, foram ensaiados com a lâmina colorida voltada para fora, ou seja, do lado onde incide a luz.

Os vidros refletivos monolíticos tiveram suas faces tratadas colocadas para dentro, o fabricante recomenda este procedimento para evitar danos causados por intempéries.

As películas foram aplicadas em uma das faces do vidro, e esta foi colocada voltada para dentro, seguindo orientação dos fabricantes que especificam que sua aplicação deva ser interna.

As leituras foram feitas com o intervalo de 1nm, e as porcentagens totais de cada região espectral (UV, Vis e IV) foram agrupadas dentro de cada faixa espectral, desenhando-se em programa gráfico os pares de leituras de comprimento de onda e porcentagem de transmissão e reflexão, e comparando-se os valores da área definida pelo gráfico com o valor da área para 100% de transmissão e ou reflexão, obtendo-se respectivamente os coeficientes de transmissão e reflexão.

### 3.3 PARÂMETROS RELACIONADOS AO CONTROLE SOLAR ATRAVÉS DE FACHADAS TRANSPARENTES

#### 3.3.1 Coeficiente de absorção

Conforme demonstrado no Item 2.4 que trata das propriedades térmicas dos vidros e películas, para a determinação do ganho de calor solar que ocorre através dos vidros os coeficientes de transmissão e reflexão são determinados nos ensaios espectrofotométricos e o coeficiente de absorção foi obtido pela equação 2.1 (Item 2.4).

#### 3.3.2 Razão Visível/Infravermelho

A razão Vis/IV foi obtida pela equação 2.3 do Item 2.4.1. Conforme já comentado o vidro considerado ideal para fachadas em regiões quentes expostos à radiação solar, deve possuir boa transmissão na região do Visível (acima de 50%) e pouca na do Infravermelho (menor que 30%) (CARAM, 1998), pois para as condições climáticas da cidade de Goiânia, seria interessante admitir luz e rejeitar o calor (Figura 3.9).

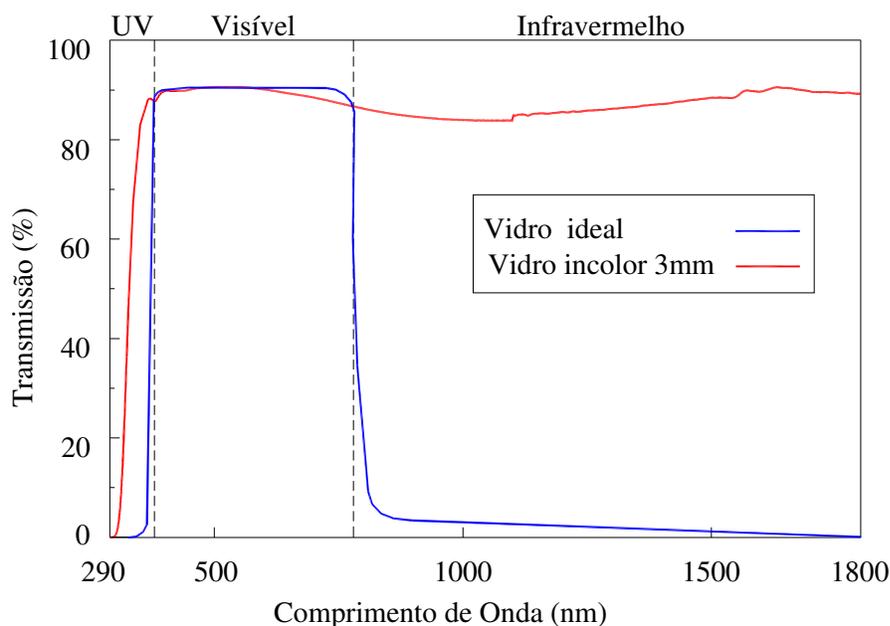


Figura 3.9 – Curva de comparação de um vidro com transmissão espectral ideal para regiões de clima quente com o vidro incolor de 3 mm.

Fonte: adaptado de Caram (1998).

### 3.3.3 Fator Solar

O Fator Solar é de extrema importância para a análise do conforto térmico, uma vez que é o parâmetro que quantifica a parcela da radiação absorvida e retransmitida para o interior da edificação. O Fator Solar foi obtido pela equação 2.9 (Item 2.4.2).

### 3.3.4 Ganho de Calor Solar

O Ganho de Calor Solar (G.C.S.) (Item 2.4.3) que um determinado vidro promove depende, dentre outros aspectos, da intensidade de radiação solar incidente, que por sua vez depende da latitude do local e orientação da fachada. Portanto, para se calcular o G.C.S. é necessário fixar alguns parâmetros.

Gonçalves (1975) apud Frota e Schiffer (2003) trazem dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais para diferentes latitudes e orientações de fachadas. Em se tratando da determinação do G.C.S. para a região do município de Goiânia-GO, as Tabelas 3.6, 3.7 e 3.8 apresentam os dados de Radiação Solar Incidente ( $I_g$ ) sobre planos Verticais e Horizontais ( $W/m^2$ ), para a latitude de  $17^\circ$  sul, respectivamente para o solstício de verão (22 de dezembro), para os equinócios (22 de setembro e 22 de março) e para o solstício de inverno (21 de junho).

As orientações escolhidas para a obtenção do G.C.S. foram as leste, norte e oeste por serem as que contribuem para uma maior carga térmica devido à radiação solar para as condições geográficas do município de Goiânia-Go.

Tabela 3.6 – Dados de Radiação Solar Incidente ( $I_g$ ) sobre planos Verticais e Horizontais ( $W/m^2$ ) para o solstício de verão – 22 de dezembro. Latitude 17° Sul.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
<b>S</b>	99	226	242	235	208	191	179	191	208	235	242	226	99
<b>SE</b>	213	549	636	605	481	325	146	68	63	58	43	38	19
<b>E</b>	213	574	<b>682</b>	655	509	309	65	68	63	58	43	38	19
<b>NE</b>	99	281	350	355	276	152	65	68	63	58	43	38	19
<b>N</b>	18	38	43	58	63	68	65	68	63	58	43	38	19
<b>NW</b>	18	38	43	58	63	68	65	152	276	355	350	281	99
<b>W</b>	18	38	43	58	63	68	65	309	509	655	<b>682</b>	574	213
<b>SW</b>	18	38	43	58	63	68	146	325	481	605	636	549	213
<b>H</b>	61	283	525	786	978	1100	1133	1100	978	786	525	283	61

Fonte: Gonçalves (1975) apud Frota e Schiffer (2003).

Tabela 3.7 – Dados de Radiação Solar Incidente ( $I_g$ ) sobre planos Verticais e Horizontais ( $W/m^2$ ) para os equinócios – 22 de setembro e 22 de março. Latitude 17° Sul.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
<b>S</b>	0	30	45	53	60	65	68	65	60	53	45	30	0
<b>SE</b>	16	308	426	367	225	65	68	65	60	53	45	30	0
<b>E</b>	23	457	<b>692</b>	680	536	224	68	65	60	53	45	30	0
<b>NE</b>	16	356	579	627	568	444	275	80	60	53	45	30	0
<b>N</b>	0	64	153	237	303	344	<b>360</b>	344	303	237	153	64	0
<b>NW</b>	0	30	45	53	60	80	275	444	568	627	579	353	16
<b>W</b>	0	30	45	53	60	65	68	224	536	680	<b>692</b>	457	23
<b>SW</b>	0	30	45	53	60	65	68	65	225	367	426	308	16
<b>H</b>	0	167	449	700	912	1039	1091	1039	912	700	449	167	0

Fonte: Gonçalves (1975) apud Frota e Schiffer (2003).

Tabela 3.8 – Dados de Radiação Solar Incidente ( $I_g$ ) sobre planos Verticais e Horizontais ( $W/m^2$ ) para o solstício de inverno – 21 de junho. Latitude  $17^\circ$  Sul.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
<b>S</b>	-	18	38	48	53	58	58	58	53	48	38	18	-
<b>SE</b>	-	84	154	89	53	58	58	58	53	48	38	18	-
<b>E</b>	-	220	506	<b>547</b>	449	274	58	58	53	48	38	18	-
<b>NE</b>	-	235	584	712	707	622	484	317	147	48	38	18	-
<b>N</b>	-	122	342	489	581	640	<b>660</b>	640	581	489	342	122	-
<b>NW</b>	-	18	38	48	147	317	484	622	707	712	584	235	-
<b>W</b>	-	18	38	48	53	58	58	274	449	<b>547</b>	506	220	-
<b>SW</b>	-	18	38	48	53	58	58	58	53	89	154	84	-
<b>H</b>	-	66	275	498	672	788	820	788	672	498	275	66	-

Fonte: Gonçalves (1975) apud Frota e Schiffer (2003).

Para a determinação do Ganho de Calor Solar foram ainda simuladas situações onde a diferença entre as temperaturas externa e interna assumissem os valores de  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  e  $15^\circ C$ .

Foi adotado o valor de radiação solar incidente ( $I_g$ ) da Tabela 3.7, com valor de  $692 W/m^2$ , para as fachadas leste e oeste para o equinócio. Períodos do ano mais críticos em termos de desconforto térmico para a região do município de Goiânia-GO. Estes valores se aplicam para as análises de todas as amostras.

A transmitância térmica ( $U$ ) ou Coeficiente Global de Transmissão de Calor, é o inverso da resistência térmica total, como apresentada no Item 2.4.2, onde  $U = 5,89 W/m^2 \cdot ^\circ C$ .

O Ganho de Calor Solar foi calculado mediante a Equação 2.10 (Item 2.4.3).

### 3.3.5 Coeficiente de Sombreamento

Sob o ponto de vista do conforto ambiental, espera-se um comportamento ótico que promova baixos valores de Fator Solar, de Ganho de Calor Solar e de Coeficiente de Sombreamento, associados à alta transmissão no espectro visível. O Coeficiente de Sombreamento foi obtido pela equação 2.11 (Item 2.4.4).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises experimentais estão apresentados em Tabelas e Figuras (gráficos), para os intervalos do espectro solar. As Figuras que ilustram o comportamento espectrofotométrico das amostras analisadas foram obtidas a partir dos dados listados pelos espectrofotômetros nos ensaios de transmissão e reflexão para ângulo de incidência da radiação de 0° em relação à normal.

Os dados obtidos nos ensaios estão apresentados na forma de porcentagem de transmissão e reflexão para cada intervalo de radiação incidente.

As curvas de transmissão e reflexão espectral são ilustradas pelas Figuras 4.1 a 4.80. A Figura 4.1 representa as curvas de transmissão (comportamento espectrofotométrico) para os vidros incolor de 3, 4 e 5 mm. As Figuras 4.2 a 4.26 apresentam os gráficos relativos aos vidros laminados. As Figuras 4.27 a 4.36 representam as curvas dos vidros refletivos. As Figuras 4.37 a 4.50 representam as curvas das películas de controle solar, conhecidas comercialmente como películas de privacidade. Nas Figuras 4.51 a 4.80 são representadas as curvas das películas refletivas, também conhecidas como películas de controle solar.

Os resultados experimentais e os valores dos índices de desempenho térmico dos vidros pesquisados estão dispostos nas Tabelas 4.1 a 4.12.

### 4.1 VIDRO INCOLOR

#### 4.1.1 Resultados experimentais

A Tabela 4.1 apresenta a transmissão da radiação solar para os vidros incolores de 3, 4 e 5 mm.

Tabela 4.1 – Transmissão da radiação solar dos vidros incolores de 3, 4 e 5 mm.

Código da Amostra	Transmissão				
	UV (%) 290 a 380 nm	Vis (%) 380 a 780 nm	IV (%) 780 a 1800 nm	Total (%) 290 a 1800 nm	Razão Vis/IV
VI 3 mm	50,35	89,45	86,76	85,31	1,03
VI 4 mm	46,85	88,38	85,36	83,86	1,04
VI 5 mm	45,14	88,28	82,63	81,89	1,07

A Figura 4.1 apresenta o gráfico que representa as curvas de transmissão para os vidros incolores de 3, 4 e 5 mm.

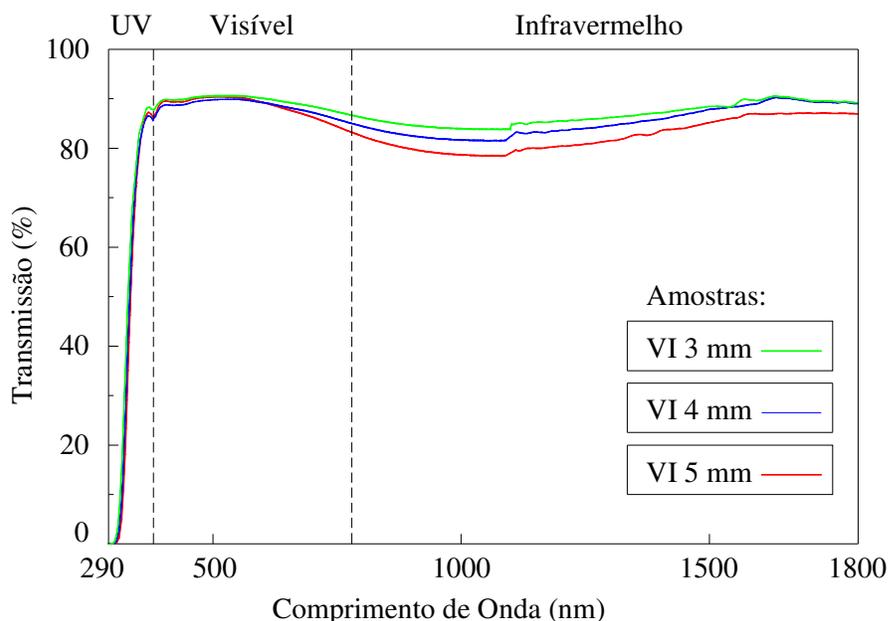


Figura 4.1 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão dos vidros incolores de 3, 4 e 5 mm.

## 4.1.2 Análise dos resultados dos vidros incolores

### 4.1.2.1 Transmissão

- Ultravioleta - A transmissão dos raios ultravioleta é alta para os vidros incolores, com valores acima de 45%.
- Visível - Os vidros incolores são transparentes no espectro visível, seu emprego gera ambientes com alta luminosidade.
- Infravermelho – No gráfico percebe-se uma pequena influência da espessura na transmissão dos raios IV, são índices elevados que agregam uma carga térmica muito elevada.
- A transmissão total para as amostras dos vidros incolores ficaram acima de 80%, valores altos. O emprego destes produtos em fachadas de edificações deve ser evitado ou realizado com muito critério, procurando sombreá-los.

## 4.2 VIDROS LAMINADOS

### 4.2.1 Resultados experimentais

A Tabela 4.2 apresenta o desempenho ótico dos vidros laminados obtidos a partir dos ensaios espectrofotométricos.

Tabela 4.2 – Desempenho ótico dos vidros laminados.

Código da Amostra <sup>1</sup>	Transmissão					Reflexão			
	UV (%) 290a380nm	Vis (%) 380a780nm	IV (%) 780a1800nm	Total (%) 290a1800nm	Razão Vis/IV	UV (%) 290a380nm	Vis (%) 380a780nm	IV (%) 780a1800nm	Total (%) 290a1800nm
LM-01	0,05	8,22	6,30	6,43	1,31	26,53	50,03	41,99	43,20
LM-02	0,02	11,74	7,40	8,11	1,59	6,30	26,42	11,39	15,07
LM-03	0,02	11,59	7,04	7,83	1,65	6,23	26,22	12,91	16,04
LM-04	0,03	13,82	9,23	9,90	1,50	22,35	40,19	33,88	34,86
LM-05	0,04	14,77	13,61	13,11	1,08	5,39	33,72	26,61	27,23
LM-06	0,04	22,64	28,98	25,58	0,78	13,40	15,65	14,06	14,44
LM-07	0,02	15,65	8,17	9,67	1,92	5,74	17,07	10,42	11,90
LM-08	0,07	26,39	35,94	31,27	0,73	7,87	25,59	11,23	14,83
LM-09	0,06	31,75	19,52	21,60	1,63	15,98	21,80	21,90	21,52
LM-10	0,03	23,82	17,24	17,96	1,38	6,19	24,59	5,36	10,50
LM-11	0,05	33,49	45,28	39,46	0,74	7,17	14,16	8,03	9,60

<sup>1</sup> LM-01 – Laminado ouro, 8% transmissão 6 mm; LM-02 – Laminado VI verde, 14% transmissão 6 mm; LM-03 – Laminado AI verde, 14% transmissão 7 mm; LM-04 – Laminado prata, 14% transmissão 8 mm; LM-05 – Laminado prata neutro, 14% transmissão 8 mm; LM-06 – Laminado azul, 20% transmissão 8 mm; LM-07 – Laminado VI verde, 20% transmissão 8 mm; LM-08 – Laminado VI verde, 30% transmissão 6 mm; LM-09 – Laminado azul, 30% transmissão 8 mm; LM-10 – Laminado verde (ReflectaFloat) 8 mm; LM-11 – Laminado bronze (antélio) 8 mm.

As Figuras 4.2 a 4.23 apresentam os gráficos das curvas de transmissão e reflexão (comportamento espectrofotométrico) para os vidros laminados.

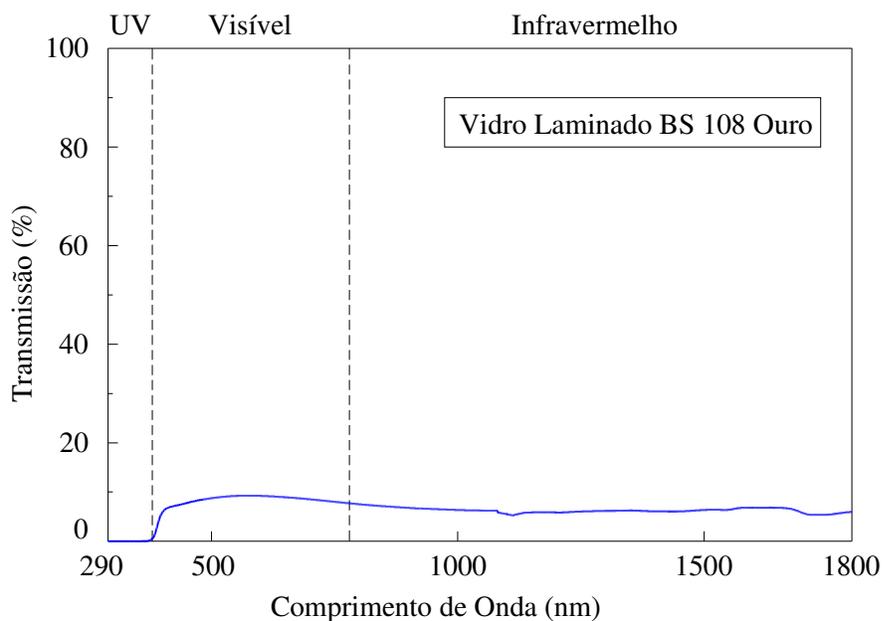


Figura 4.2 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-01) – Vidro Laminado BS 108 Ouro (6 mm).

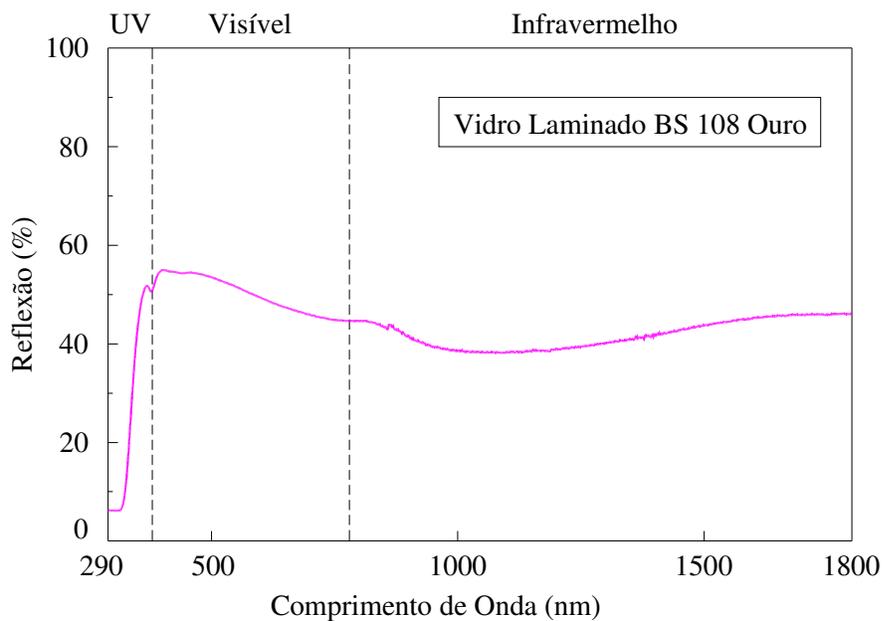


Figura 4.3 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-01) – Vidro Laminado BS 108 Ouro (6 mm).

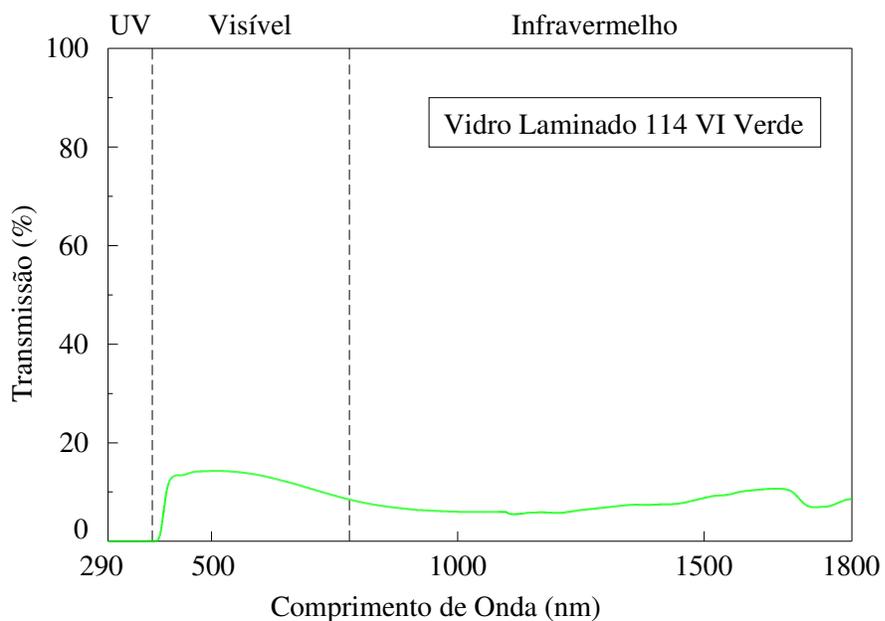


Figura 4.4 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-02) – Vidro Laminado 114 VI Verde (6 mm).

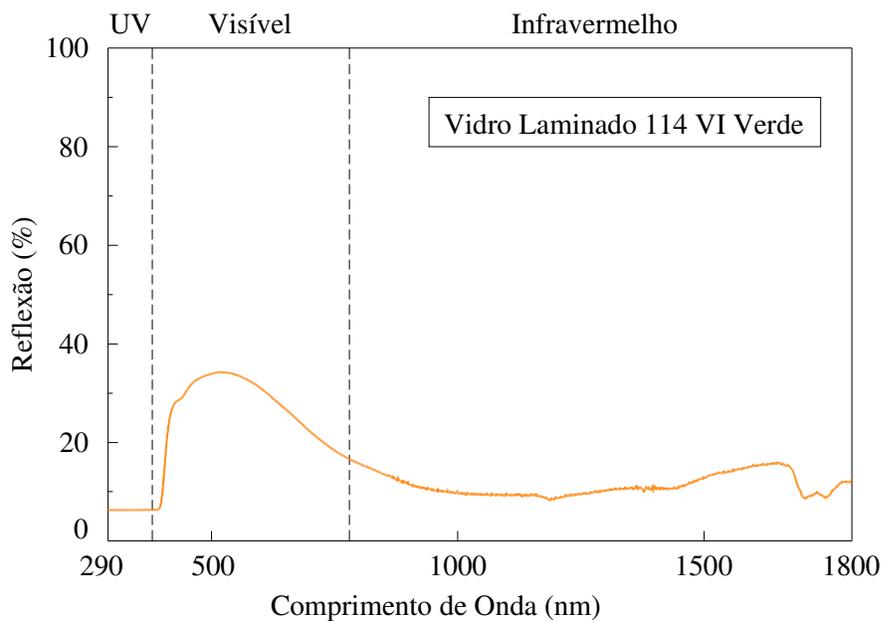


Figura 4.5 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-02) – Vidro Laminado 114 VI Verde (6 mm).

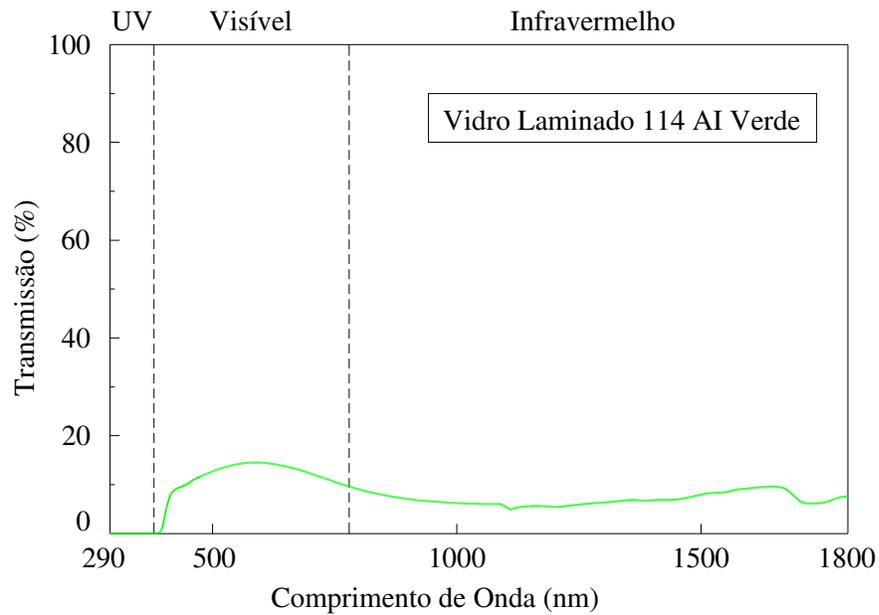


Figura 4.6 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-03) – Vidro Laminado 114 AI Verde (7 mm).

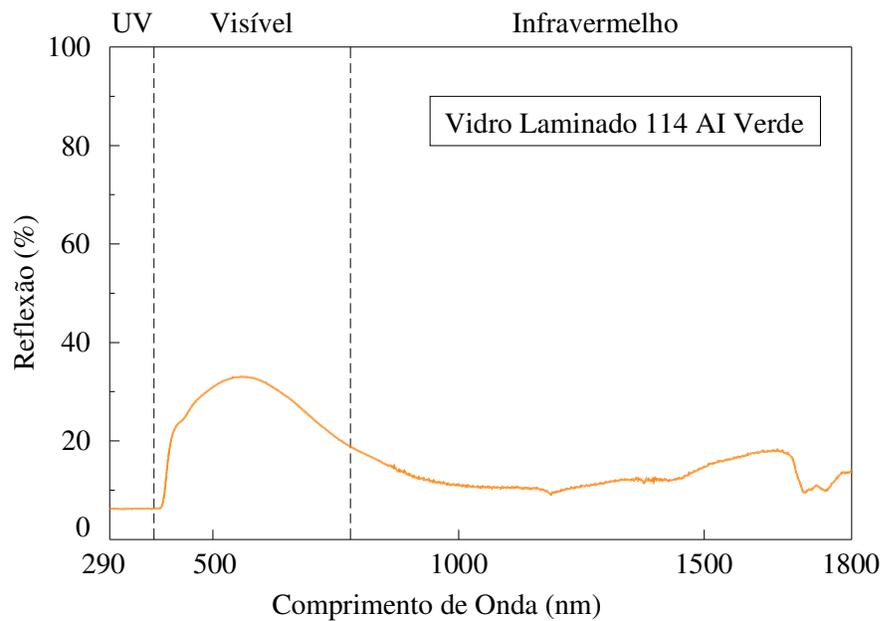


Figura 4.7 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-03) – Vidro Laminado 114 AI Verde (7 mm).

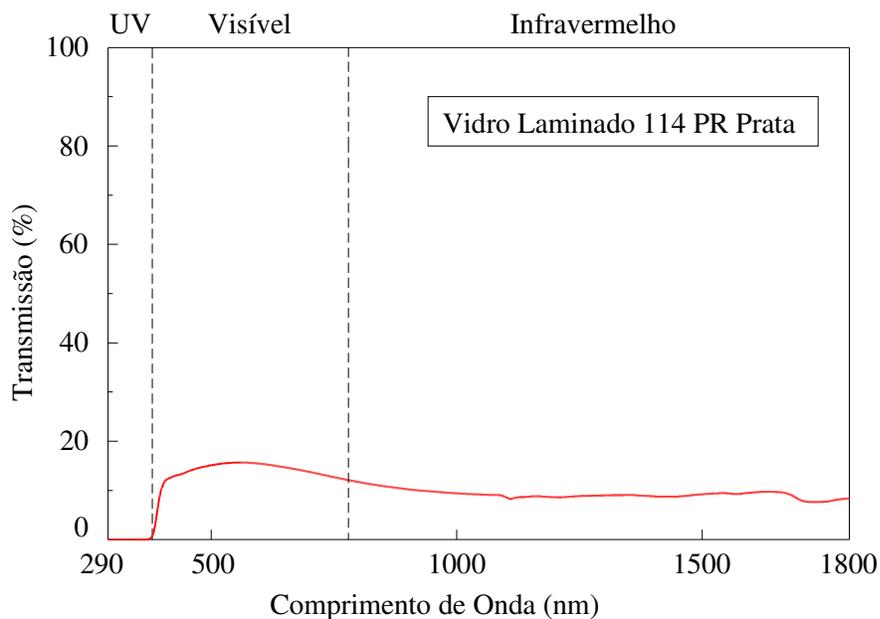


Figura 4.8 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-04) – Vidro Laminado 114 PR Prata (8 mm).

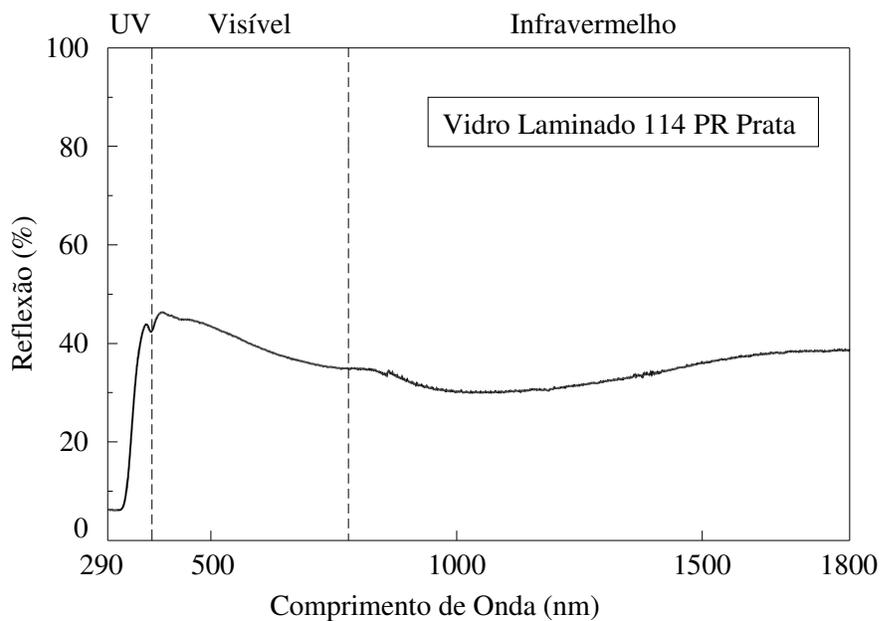


Figura 4.9 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-04) – Vidro Laminado 114 PR Prata (8 mm).

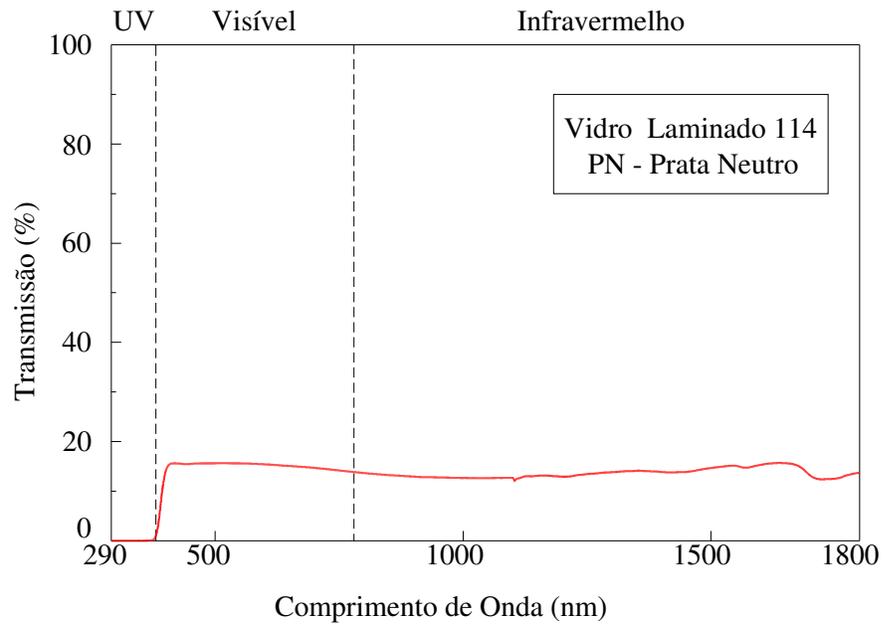


Figura 4.10 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-05) – Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro (8 mm).

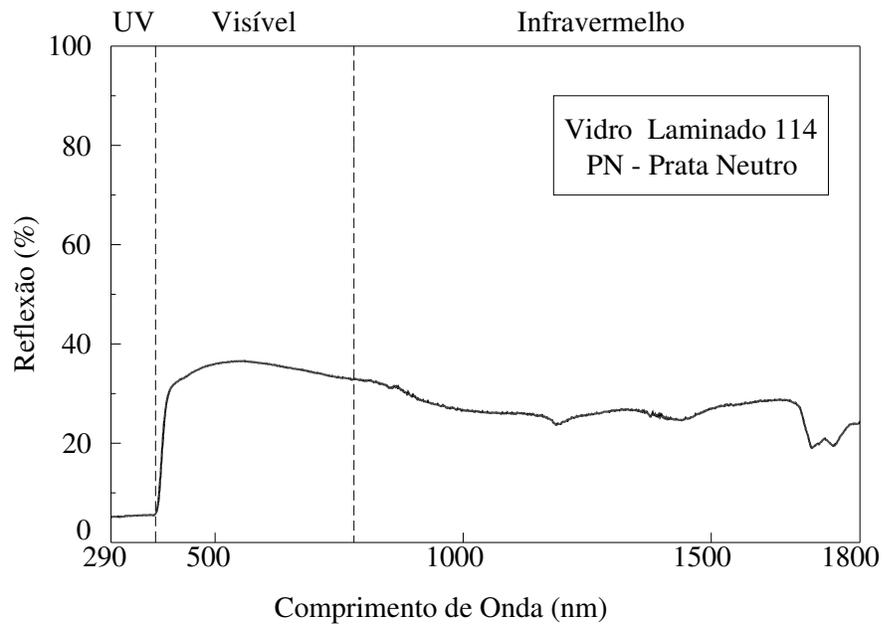


Figura 4.11 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-05) – Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro (8 mm).

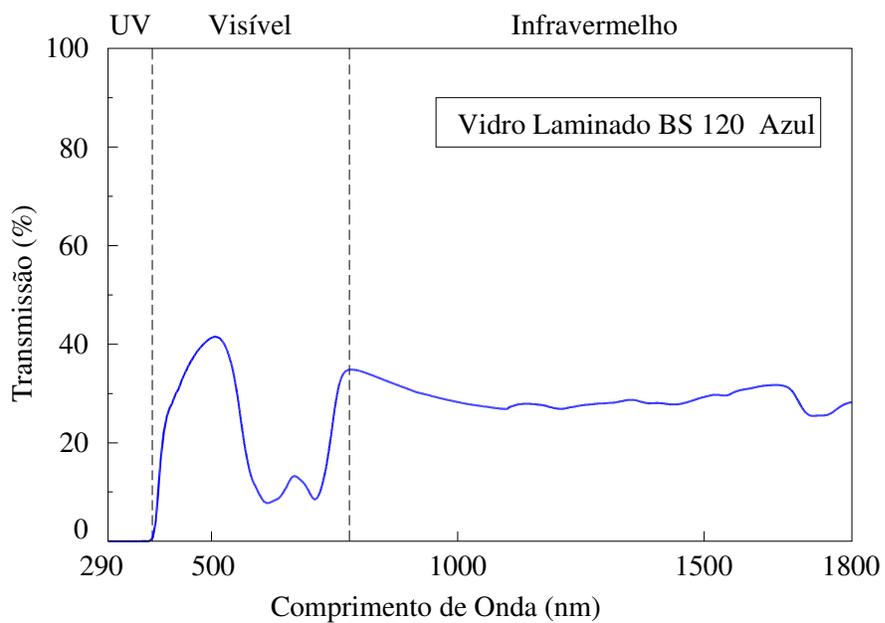


Figura 4.12 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-06) – Vidro Laminado BS 120 Azul (8 mm).

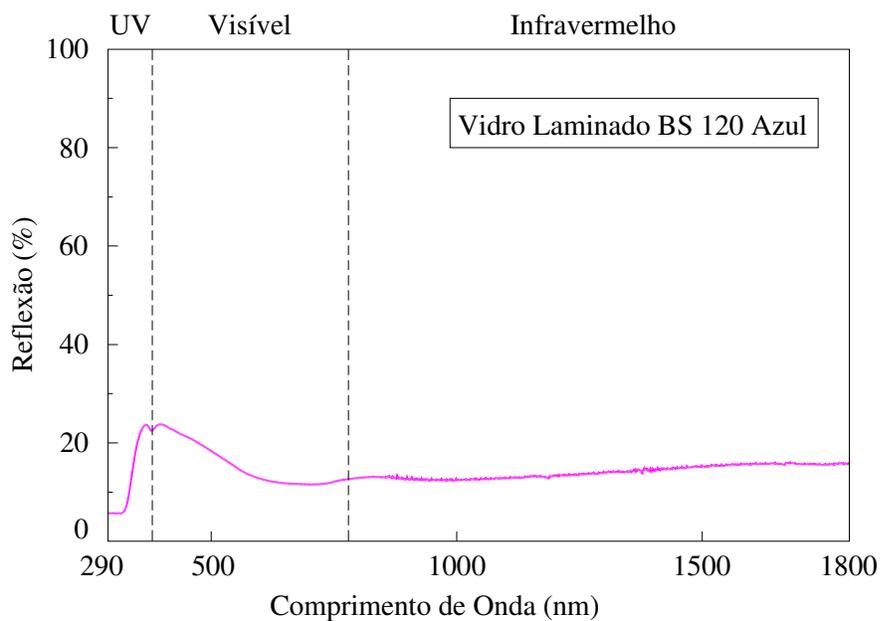


Figura 4.13 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-06) – Vidro Laminado BS 120 Azul (8 mm).

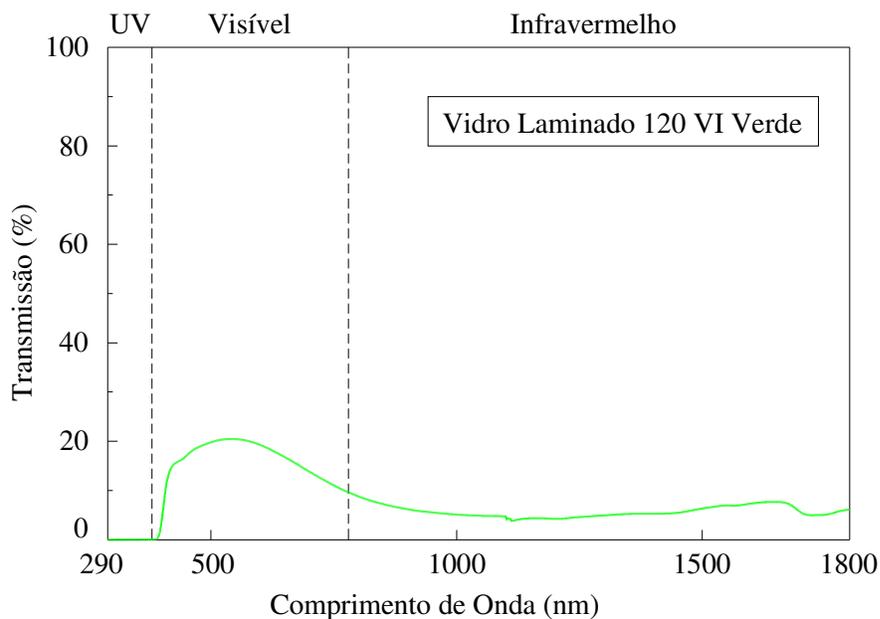


Figura 4.14 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-07) – Vidro Laminado 120 VI Verde (8 mm).

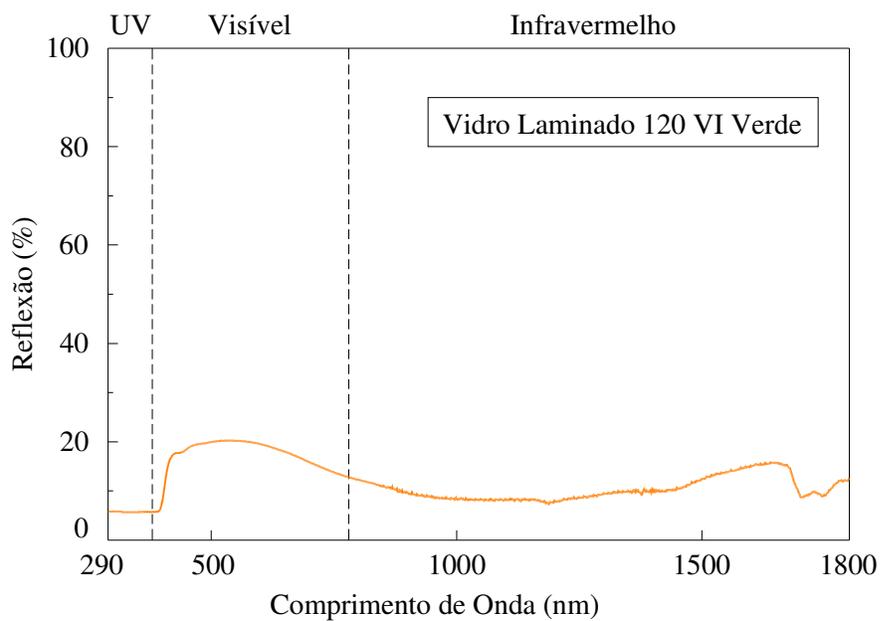


Figura 4.15 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-07) – Vidro Laminado 120 VI Verde (8 mm).

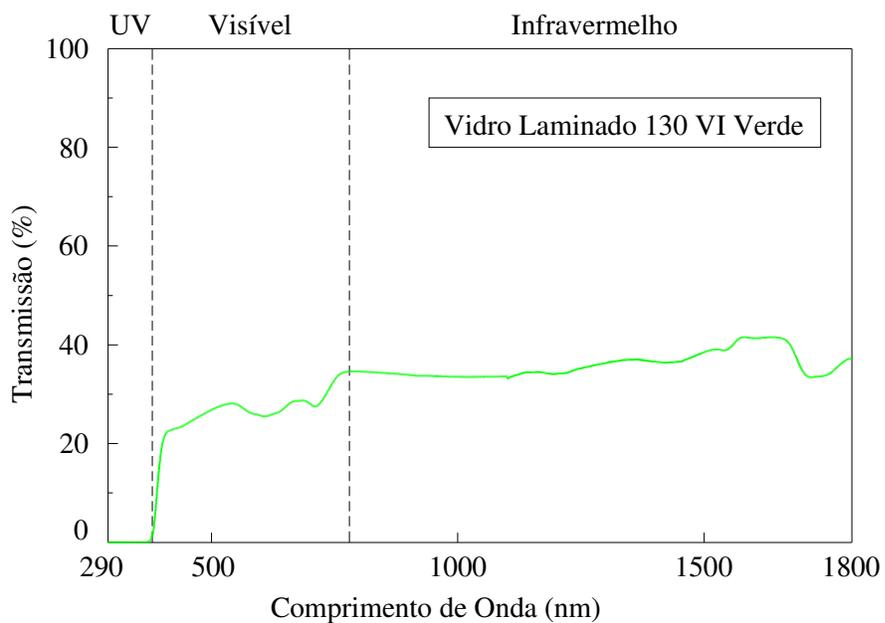


Figura 4.16 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-08) – Vidro Laminado 130 VI Verde (6 mm).

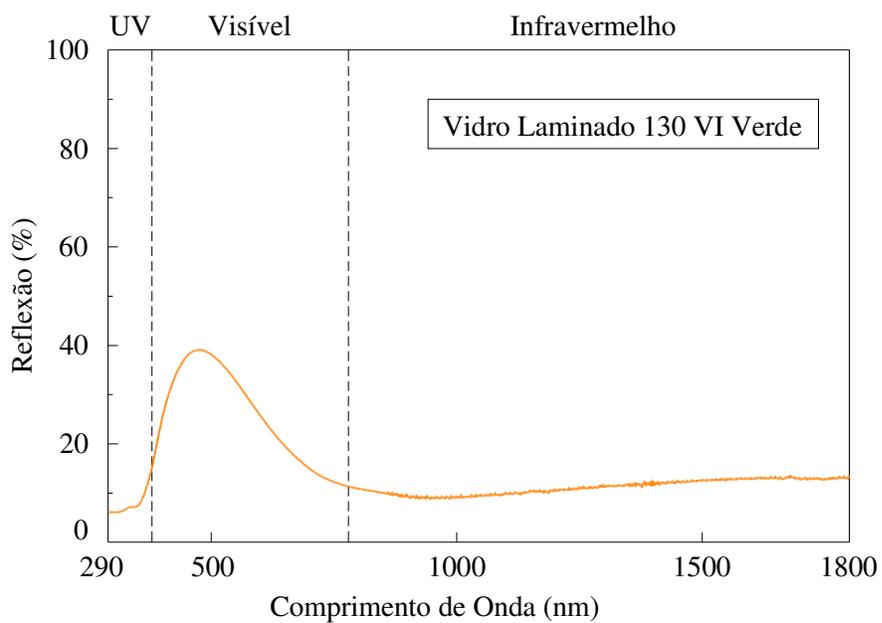


Figura 4.17 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-08) – Vidro Laminado 130 VI Verde (6 mm).

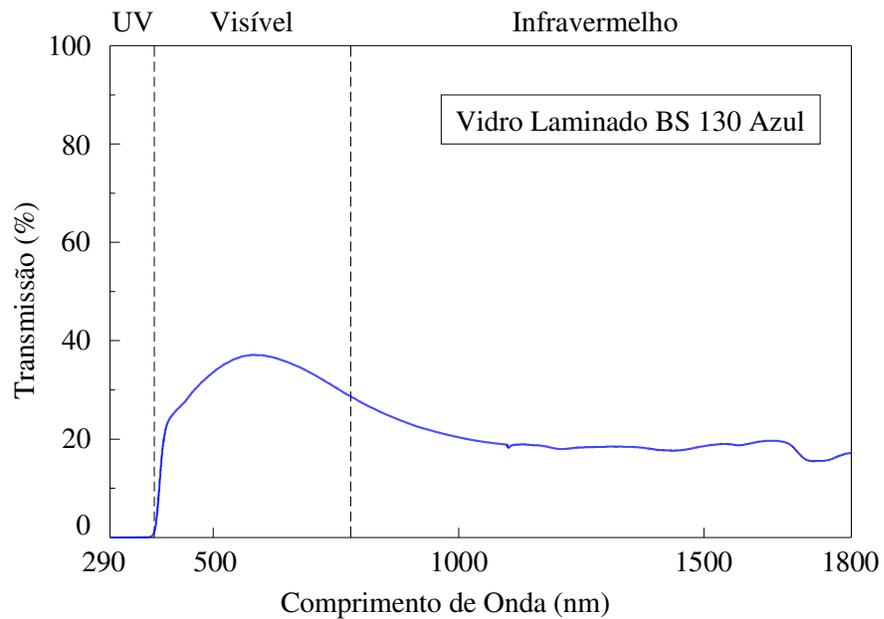


Figura 4.18 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-09) – Vidro Laminado BS 130 Azul (8 mm).

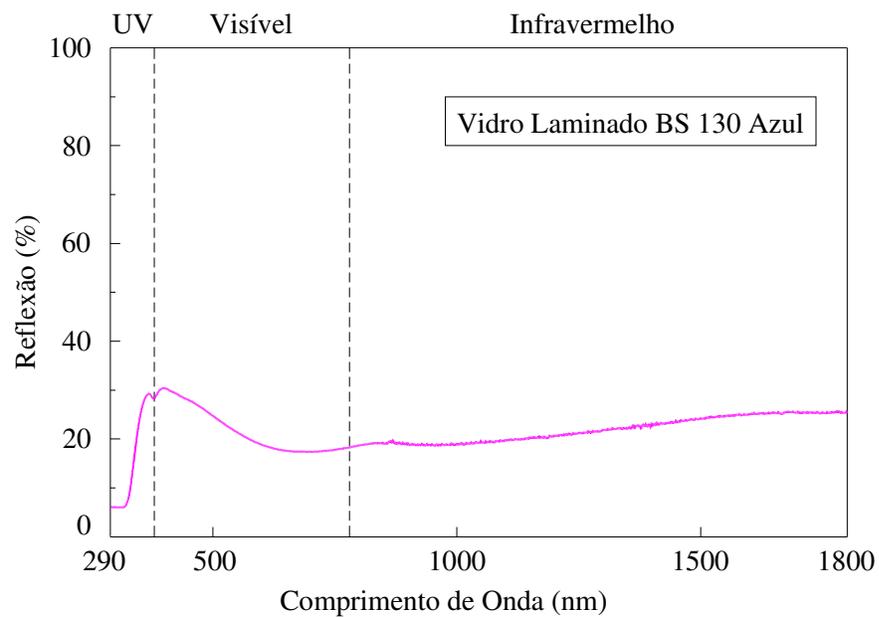


Figura 4.19 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-09) – Vidro Laminado BS 130 Azul (8 mm).

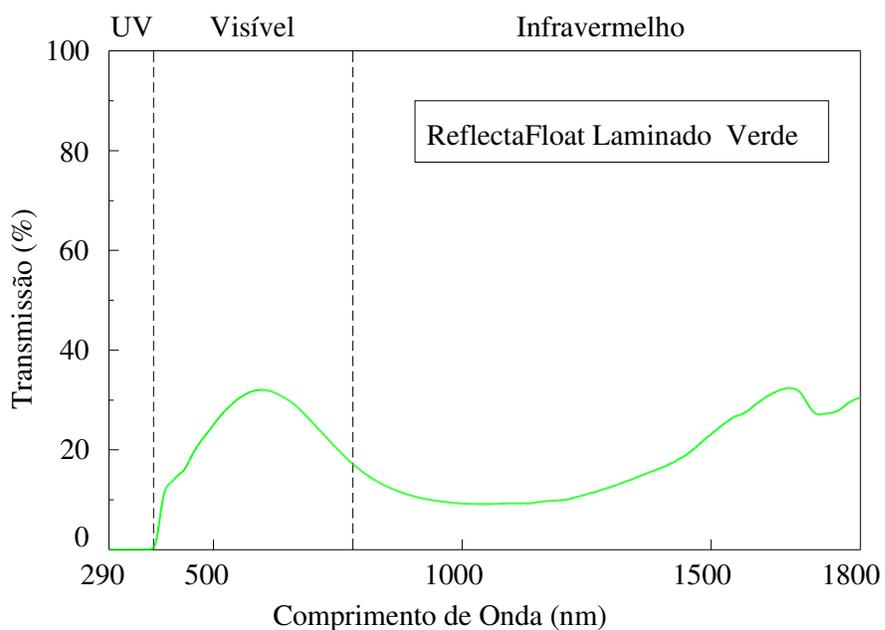


Figura 4.20 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-10) – Vidro Laminado (ReflectaFloat) Verde (8 mm).

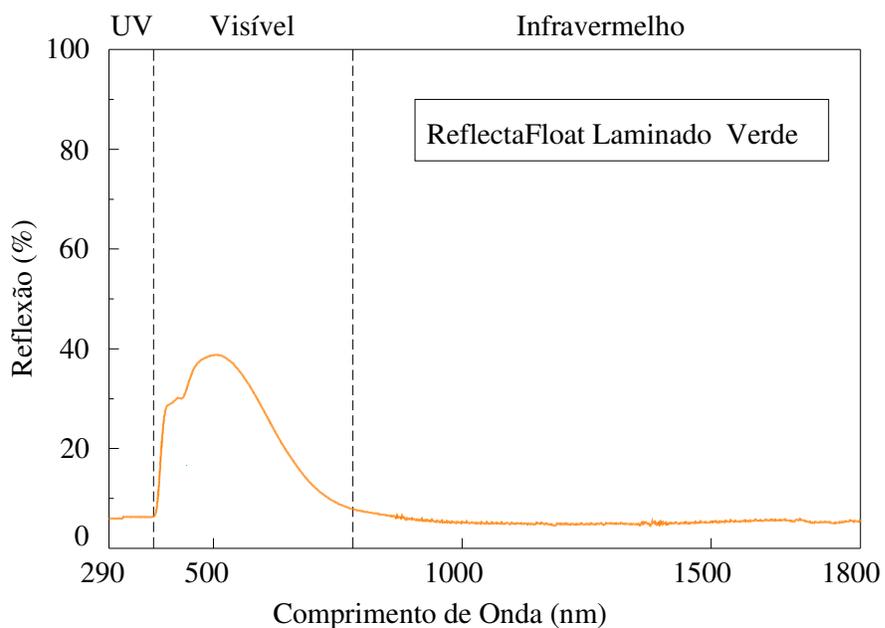


Figura 4.21 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-10) – Vidro Laminado (ReflectaFloat) Verde (8 mm).

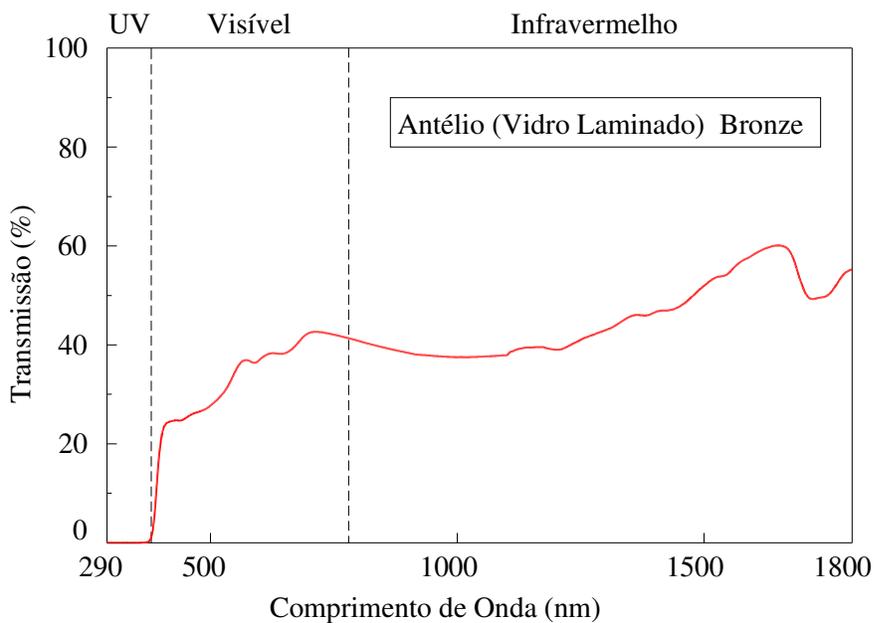


Figura 4.22 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (LM-11) – Antélio (Vidro Laminado) Bronze (8 mm).

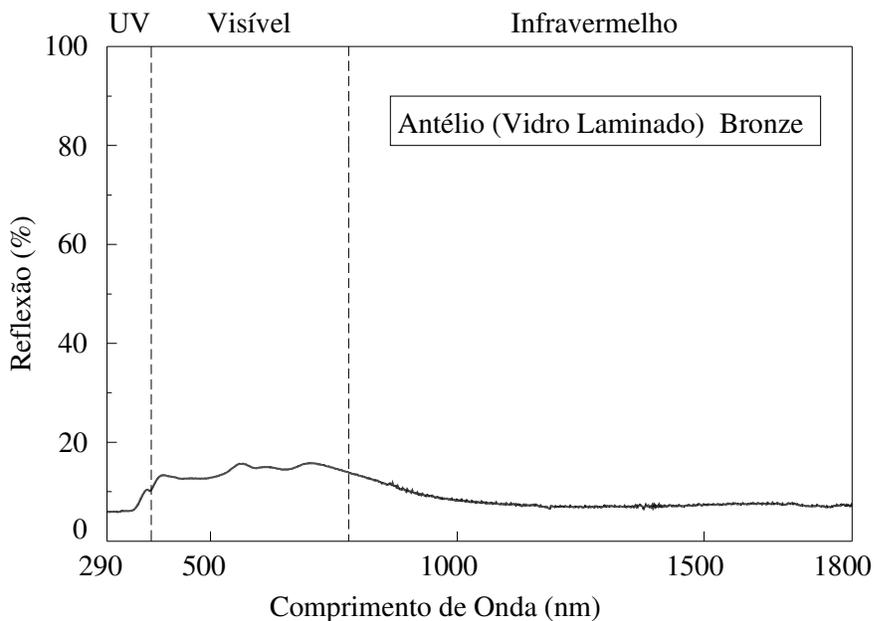


Figura 4.23 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (LM-11) – Antélio (Vidro Laminado) Bronze (8 mm).

## 4.2.2 Análise dos resultados dos vidros laminados

### 4.2.2.1 Transmissão

– Ultravioleta - A transmissão dos raios ultravioleta é muito pequena para os vidros laminados, com valores menores que 1% para todas as amostras.

– Visível - Os vidros laminados são classificados comercialmente com os termos 108, 114, 120 e 130. Os números 8, 14, 20 e 30 representam as porcentagens de luz (visível) que devem ser transmitidas por estes vidros. Este termo é conhecido entre os comerciantes como Índice de Controle de Luz Solar.

O vidro laminado 01 (LM-01) tem fator 108, no entanto o resultado da análise encontrou um índice de 8,22%, agregando 2,75% a mais de luz no ambiente.

O LM-02 é um vidro 114 e obteve um resultado de 11,74% de transmissão, 83,85% do que é proposto.

O LM-03 tem fator 114 e obteve nos ensaios um resultado de 11,59% que representa 82,78% de sua proposta.

Os vidros LM-04 e LM-05 têm fator 114 e seus resultados foram, respectivamente de 13,82% que representa 98,71% do esperado, e 14,77% ou seja, 5,5% de transmissão acima do esperado.

O vidro LM-06 tem fator 120, no entanto tem um índice de 22,64% de transmissão no visível, valor que representa 13,0% acima do índice de transmissão que ele deveria possuir.

O LM-07 tem fator 120, obteve nos ensaios resultado de 15,65%, este valor representa 78,25% da sua proposta.

O LM-08 tem fator 130 e obteve um resultado de 26,39% que representa 87,97% da sua proposta.

O vidro laminado LM-09 tem resultado com valor próximo ao esperado. O LM-09 tem fator 130, no entanto tem índice de 31,75%, o que representa 5,8% a mais de luz no ambiente.

Os vidros LM-02, LM-03, LM-07 e LM-08 são de um único fornecedor, nenhum deles obteve o índice de transmissão luminosa desejado, obtendo-se uma média de 83,2% da transmissão proposta.

As amostras LM-10 e LM-11 não trouxeram o Índice de Controle de Luz Solar, pois seu objetivo está na reflexão. O LM-10 tem índice de 23,82% e o LM-11 33,49% de transmissão, valores que foram utilizados para o cálculo de sua razão visível/infravermelho.

– Infravermelho - A transmissão para a região do infravermelho apresenta valores bastante distintos, pois variam de 6,30 a 45,28%. Busca-se um produto com índices baixos de transmissão no infravermelho, quanto menor este valor, melhor será o desempenho. As amostras LM-01 com 6,30%, LM-02 com 7,40%, LM-03 com 7,04%, LM-04 com 9,23% e LM-07 com 8,17% apresentaram excelentes resultados, fazendo-se necessário associar estas informações com a razão visível/infravermelho e o ganho de calor solar para a determinação do melhor desempenho.

#### 4.2.2.2 Reflexão

A reflexão dos vidros laminados foi verificada, pois havia a preocupação de um produto com baixo índice de reflexão estar associado a um baixo índice de transmissão com conseqüente alto índice de absorção, que representa uma situação indesejável sob o ponto de vista do ganho de calor por reirradiação. A análise da razão visível/infravermelho é imprescindível na análise da transmissão. Porém deve ser avaliado se o produto tem alta absorção, pois esta agrega grande ganho de calor solar na edificação.

– Ultravioleta - A reflexão no UV situou-se no intervalo de 5,39 a 26,53%.

– Visível - A reflexão no visível situou-se no intervalo de 14,16 a 50,03%. Deve-se destacar que há interesse em admitir luz no interior da edificação, produtos com índices baixos seriam de interesse para os ocupantes da edificação e para os vizinhos, pois uma grande quantidade de luz refletida gera desconforto para os ocupantes do entorno da edificação. Procura-se produtos com alta transmissão e baixa reflexão no visível, o Antélio (LM-11) é a amostra que atende melhor esta observação com 33,49% de transmissão e 14,16% de reflexão no visível.

– Infravermelho - Para um bom desempenho térmico de uma edificação procura-se produtos que refutem calor. São de interesse produtos com altos índices de reflexão no IV, porém os resultados mostram índices baixos. Os vidros LM-02 com 11,39%, LM-03 com 12,91%, LM-06 com 14,06%, LM-07 com 10,42%, LM-08 com 11,23%, LM-10 com 5,36% e o LM-11 com 8,03%. O vidro LM-01 apresenta o melhor desempenho com 41,99%. Os vidros LM-02, LM-03, LM-08, e LM-10 não têm um desempenho desejável do ponto de vista do conforto térmico, apresentam alta reflexão no visível e baixa no infravermelho. Os vidros LM-10 e LM-11 são classificados comercialmente como vidros laminados refletivos, mas apresentam os menores índices encontrados para porcentagens totais de reflexão.

#### 4.2.2.3 Parâmetros de desempenho térmico dos vidros laminados

A Tabela 4.3 traz os resultados de transmissão e reflexão total, de absorção, da razão visível/infravermelho para a transmissão, do Fator Solar, do Ganho de Calor Solar e do Coeficiente de Sombreamento para as amostras dos vidros laminados ensaiados.

Tabela 4.3 – Parâmetros de desempenho térmico dos vidros laminados para radiação solar incidente de 692 W/m<sup>2</sup>.

Código da Amostra <sup>1</sup>	Transmissão Total (%)	Reflexão Total (%)	Absorção Total (%)	Razão Vis / IV	FS	G.C.S. (W/m <sup>2</sup> )				CS
						( $\Delta t = 0^\circ$ )	( $\Delta t = 5^\circ$ )	( $\Delta t = 10^\circ$ )	( $\Delta t = 15^\circ$ )	
LM-01	6,43	43,20	50,37	1,31	0,18	124,6	154,0	183,5	212,9	0,21
LM-02	8,11	15,07	76,82	1,59	0,26	179,9	209,4	238,8	268,3	0,30
LM-03	7,83	16,04	76,13	1,65	0,26	179,9	209,4	238,8	268,3	0,30
LM-04	9,90	34,86	55,24	1,50	0,23	159,2	188,6	218,1	247,5	0,26
LM-05	13,11	27,23	59,66	1,08	0,27	186,8	216,3	245,7	275,2	0,31
LM-06	25,58	14,44	59,98	0,78	0,40	276,8	306,3	335,7	365,2	0,46
LM-07	9,67	11,90	78,43	1,92	0,28	193,8	223,2	252,7	282,1	0,32
LM-08	31,27	14,83	53,90	0,73	0,44	304,5	333,9	363,4	392,8	0,51
LM-09	21,60	21,52	56,88	1,63	0,35	242,2	271,7	301,1	330,6	0,40
LM-10	17,96	10,50	71,54	1,38	0,35	242,2	271,7	301,1	330,6	0,40
LM-11	39,46	9,60	50,94	0,74	0,51	352,9	382,4	411,8	441,3	0,59

<sup>1</sup> LM-01 – Laminado ouro, 8% transmissão 6 mm; LM-02 – Laminado VI verde, 14% transmissão 6 mm; LM-03 – Laminado AI verde, 14% transmissão 7 mm; LM-04 – Laminado prata, 14% transmissão 8 mm; LM-05 – Laminado prata neutro, 14% transmissão 8 mm; LM-06 – Laminado azul, 20% transmissão 8 mm; LM-07 – Laminado VI verde, 20% transmissão 8 mm; LM-08 – Laminado VI verde, 30% transmissão 6 mm; LM-09 – Laminado azul, 30% transmissão 8 mm; LM-10 – Laminado verde (ReflectaFloat) 8 mm; LM-11 – Laminado bronze (antélio) 8 mm.

– Transmissão total - A transmissão total para os vidros laminados encontra-se entre 6,43 e 39,46%.

– Reflexão total - Esperava-se que os vidros LM-10 e LM-11 tivessem melhores índices de reflexão. No entanto, foram os que tiveram os índices mais baixos. Os vidros LM-01 e LM-04 têm os melhores resultados encontrados com 43,20 e 34,86%. De maneira geral as amostras estudadas têm índices baixos de reflexão.

– Havia a preocupação no início deste estudo quanto à quantidade de radiação absorvida. Os resultados mostraram que os valores percentuais de absorção são elevados em todas as amostras com índices acima de 50%, valores estes que aumentam o Fator Solar e o Ganho de Calor Solar devido à reirradiação da energia solar incidente.

– Razão visível/infravermelho - Ao analisar a razão entre o visível e infravermelho para transmissão, foram encontrados três produtos com valores menores que um. O LM-06 cuja razão Vis/IV é 0,78, o LM-08 com razão de 0,73 e LM-11 com 0,74. O LM-05 obteve índice de 1,08. O maior índice encontrado foi o do LM-07 com índice de 1,92. Os vidros LM-01 (1,31), LM-02 (1,59), LM-03 (1,65), LM-04 (1,50), LM-09 (1,63), LM-10 (1,38), obtiveram bons índices de desempenho razão visível/infravermelho.

– Os vidros que têm menores valores de ganho de calor solar são os que apresentam os maiores índices de refletância. Analisando o fator visível/infravermelho com o ganho de calor solar verifica-se que um índice corrobora o desempenho do outro, ou seja para os vidros LM-06, LM-08 e LM-11 com valores menores que um, tem os maiores ganhos de calor solar.

O fabricante nomeia o vidro e agrega o termo 108, 114, 120 e 130 nos quais os números 8, 14, 20 e 30 são as quantidades percentuais de radiação no espectro visível que deve ser transmitida pelo vidro. Contudo, não há menção quanto à quantidade de infravermelho (onda de calor) que o vidro agrega à edificação. Nas Figuras 4.24, 4.25 e 4.26 são comparados o desempenho térmico dos vidros 114, 120 e 130 respectivamente.

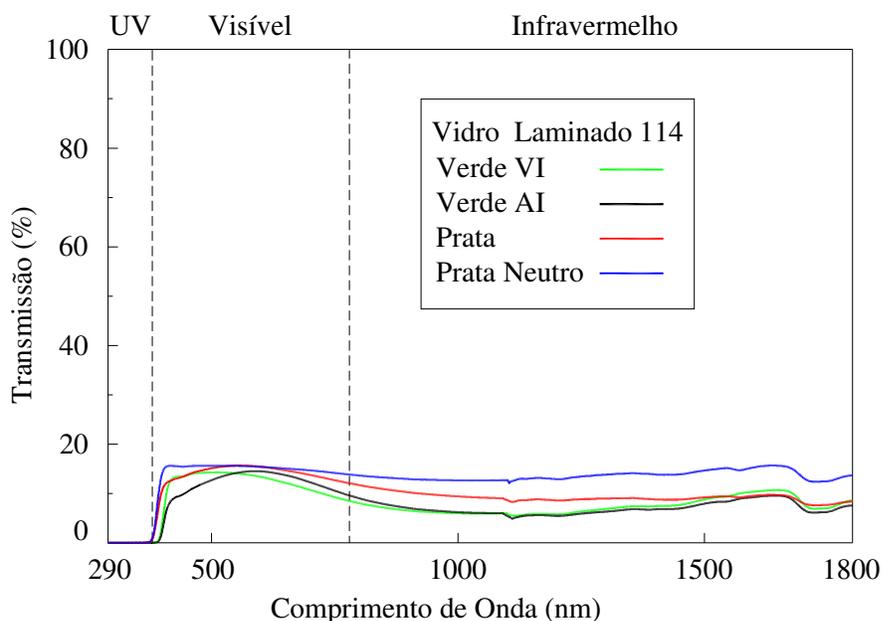


Figura 4.24 – Comparação do comportamento espectrofotométrico de transmissão dos vidros LM-02 (VI Verde, 6 mm), LM-03 (AI Verde, 7 mm), LM-04 (Prata, 8 mm) e LM-05 (Prata Neutro, 8 mm) dos Vidros Laminados 114.

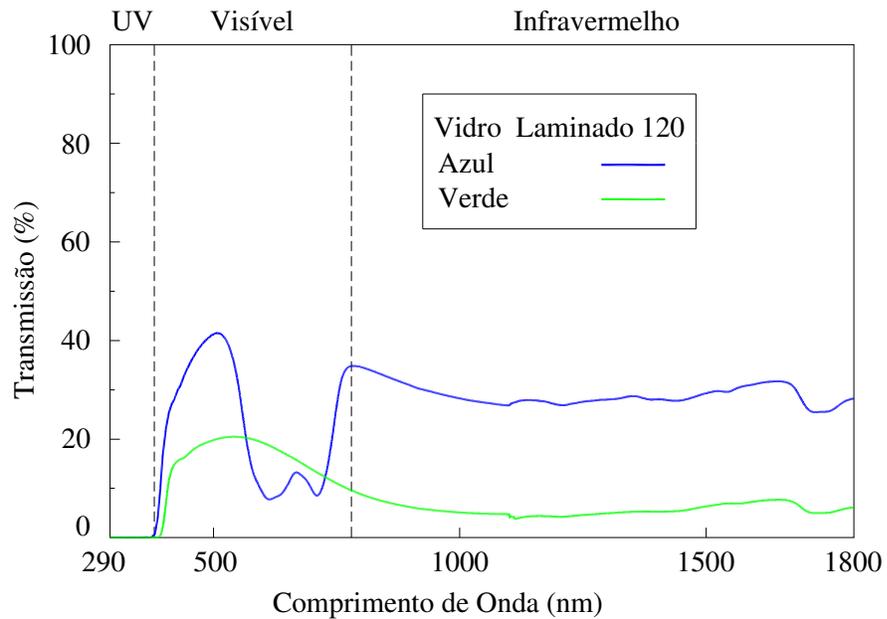


Figura 4.25 – Comparação do comportamento espectrofotométrico de transmissão dos vidros LM-06 (BS Azul, 8 mm) e LM-07 (VI Verde, 8 mm) dos Vidros Laminados 120.

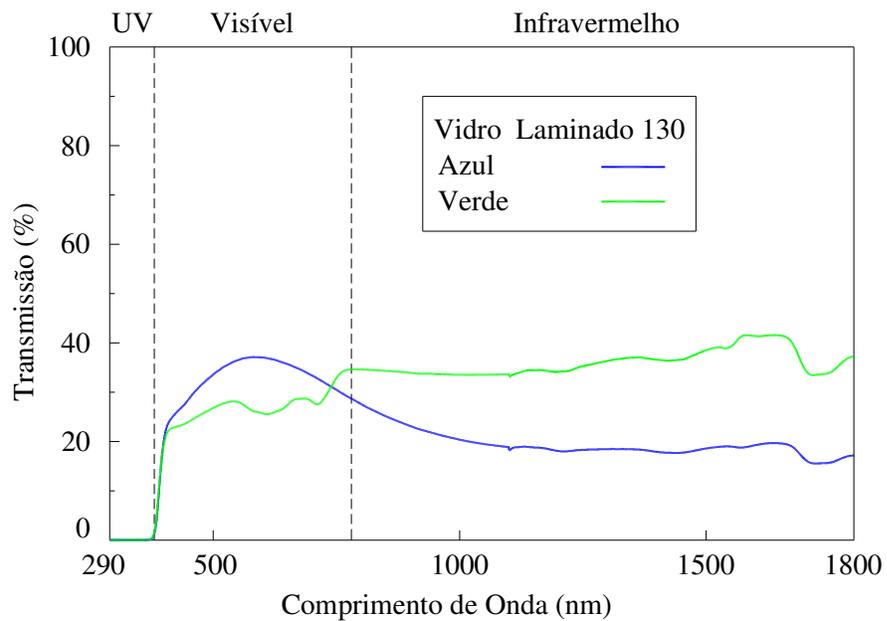


Figura 4.26 – Comparação do comportamento espectrofotométrico de transmissão dos vidros LM-08 (VI Verde, 6mm) e LM-09 (BS Azul, 8mm) dos Vidros Laminados 130.

Quando se compara a transmissão do IV da Figura 4.24, nota-se uma pequena diferença de desempenho, de 6,5%, o vidro LM-03 com melhor desempenho (7,04%) e o LM-05 com pior desempenho (13,61%), mesmo sendo comparados vidros com espessuras de 6, 7 e 8 mm.

A Figura 4.25 traz vidros 120, a espessura dos vidros é de 8 mm, há um desempenho significativo no infravermelho do vidro verde (LM-07) com 8,17% de transmissão, o azul (LM-06) índice de transmissão de 28,98%.

A Figura 4.26 traz os vidros 130, o vidro azul (LM-09, 8 mm) com 19,52% de transmissão no IV enquanto o vidro verde (LM-08, 6 mm) tem transmissão de 35,94%.

Os vidros laminados transmitem pouca luminosidade, duas amostras apresentaram transmissão acima de 30%. Fica evidenciado o bom desempenho dos vidros laminados quanto ao Índice de Controle de Luz Solar proposto pelas indústrias, porém esta transmissão luminosa deve ser interpretada dentro do intervalo apresentado por Caram (1998) onde a transmissão de luz (TL) é classificada em:

TL < 30% - transmissão luminosa fraca.

30% ≤ TL ≤ 50% - transmissão luminosa média.

TL > 50% - transmissão luminosa forte.

### 4.3 VIDROS REFLETIVOS MONOLÍTICOS

#### 4.3.1 Resultados experimentais

A Tabela 4.4 apresenta os resultados do desempenho ótico dos vidros refletivos monolíticos obtidos a partir dos ensaios espectrofotométricos.

Tabela 4.4 – Desempenho ótico dos vidros refletivos monolíticos.

Código da Amostra <sup>2</sup>	Transmissão					Reflexão			
	UV (%) 290a380nm	Vis (%) 380a780nm	IV (%) 780a1800nm	Total (%) 290a1800nm	Razão Vis/IV	UV (%) 290a380nm	Vis (%) 380a780nm	IV (%) 780a1800nm	Total (%) 290a1800nm
RF-01	6,14	15,37	17,53	16,28	0,88	11,91	40,40	48,44	44,13
RF-02	8,31	30,33	22,18	23,51	1,37	17,26	20,94	16,50	17,72
RF-03	4,27	33,38	69,84	56,28	0,48	25,23	51,58	19,26	28,18
RF-04	4,82	34,77	66,66	54,53	0,52	23,67	47,88	17,61	25,99
RF-05	11,58	38,81	30,14	31,33	1,29	17,28	20,33	18,94	19,23

<sup>2</sup> RF-01 – Refletivo azul, 20% transmissão 4 mm; RF-02 – Refletivo cobre, 30% transmissão 3 mm; ; RF-03 – Refletivo bronze, 30% transmissão 3 mm; RF-04 – Refletivo bronze, 30% transmissão 4 mm; RF-05 – Refletivo cobre, 40% transmissão 4 mm.

Nas Figuras 4.27 a 4.36 são apresentados gráficos que representam as curvas de transmissão e reflexão (comportamento espectrofotométrico) para os vidros refletivos monolíticos.

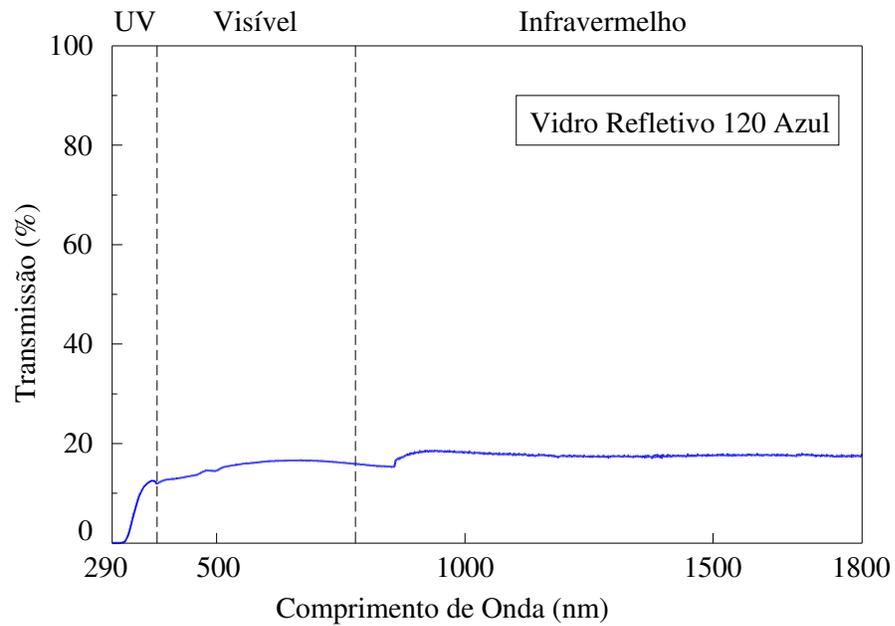


Figura 4.27 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-01) – Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul (4 mm).

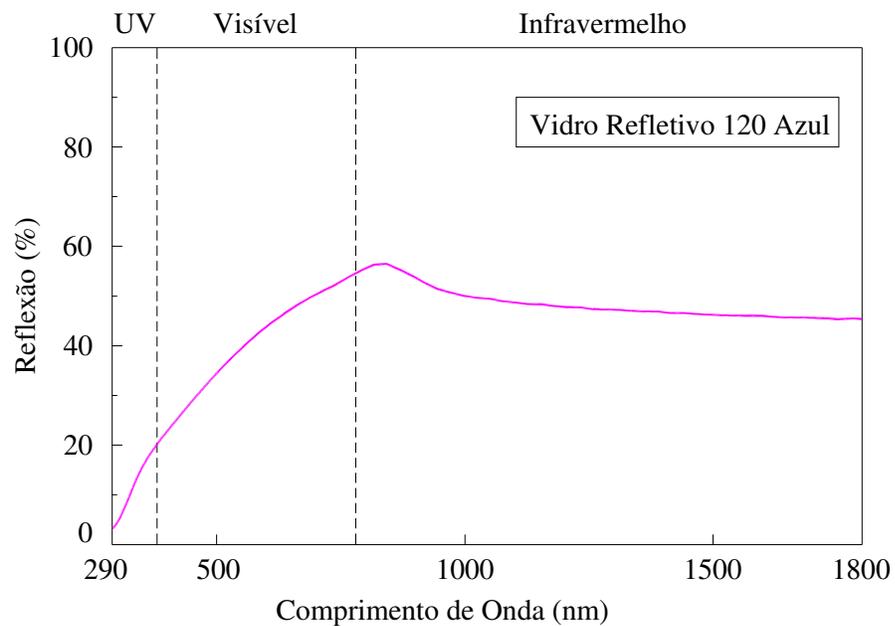


Figura 4.28 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-01) – Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul (4 mm).

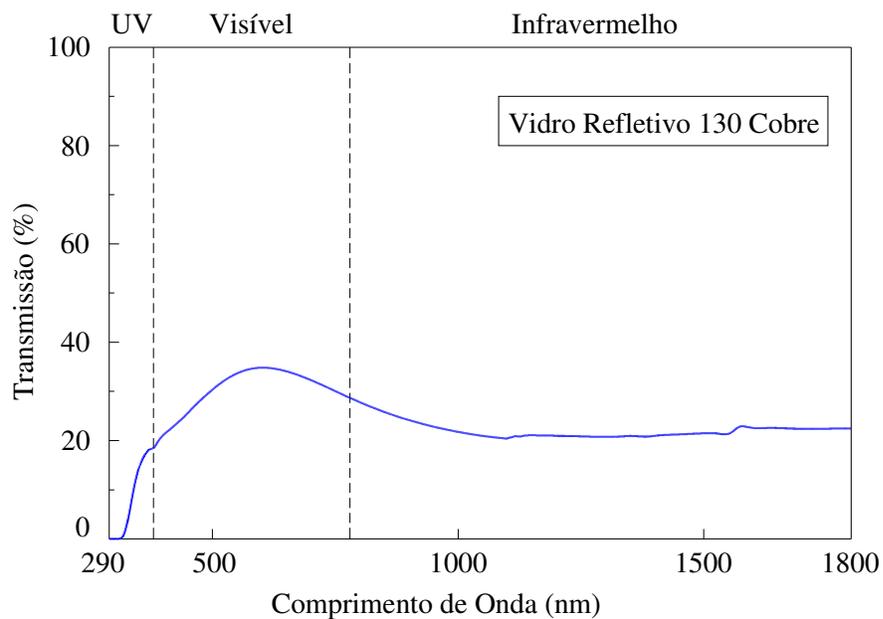


Figura 4.29 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-02) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre (3 mm).

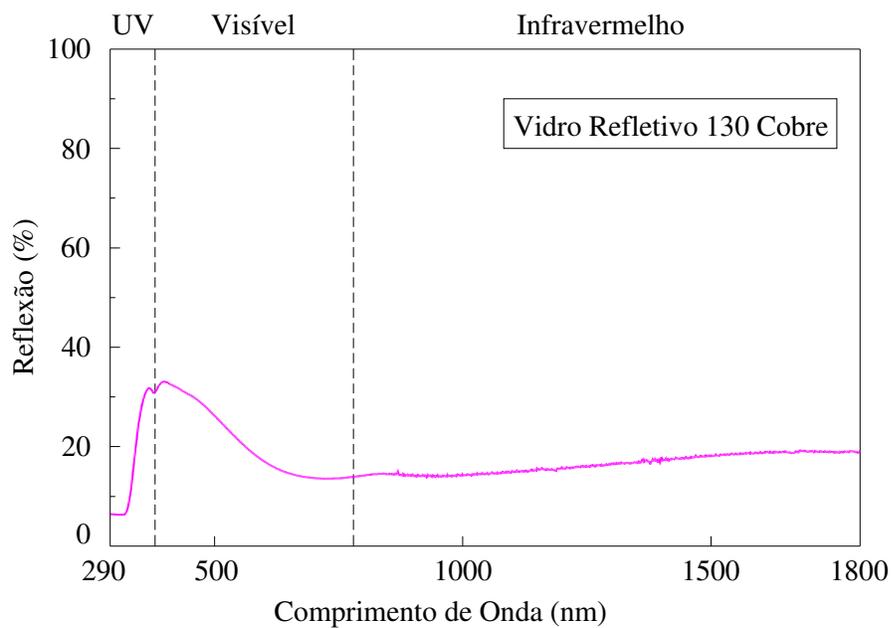


Figura 4.30 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-02) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre (3 mm).

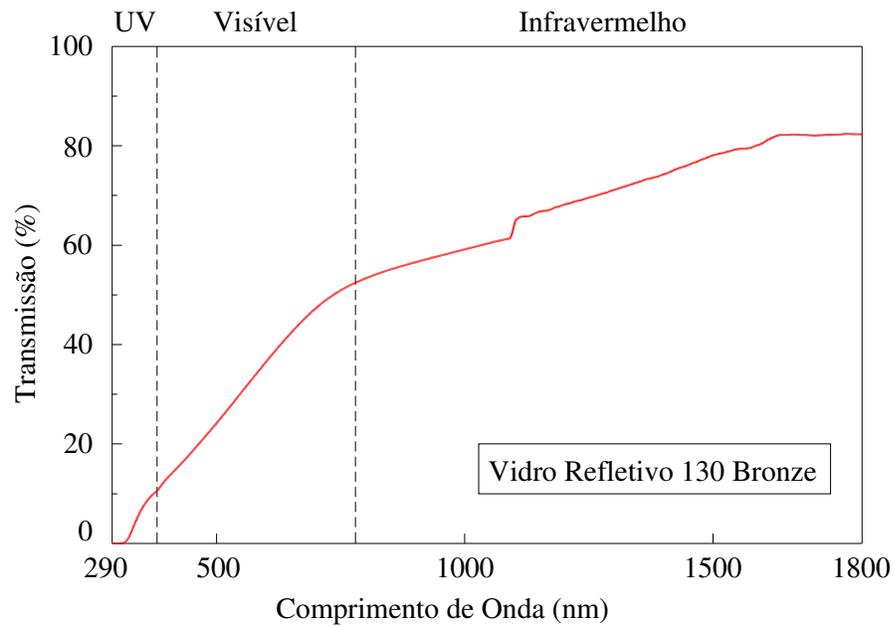


Figura 4.31 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-03) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze (3 mm).

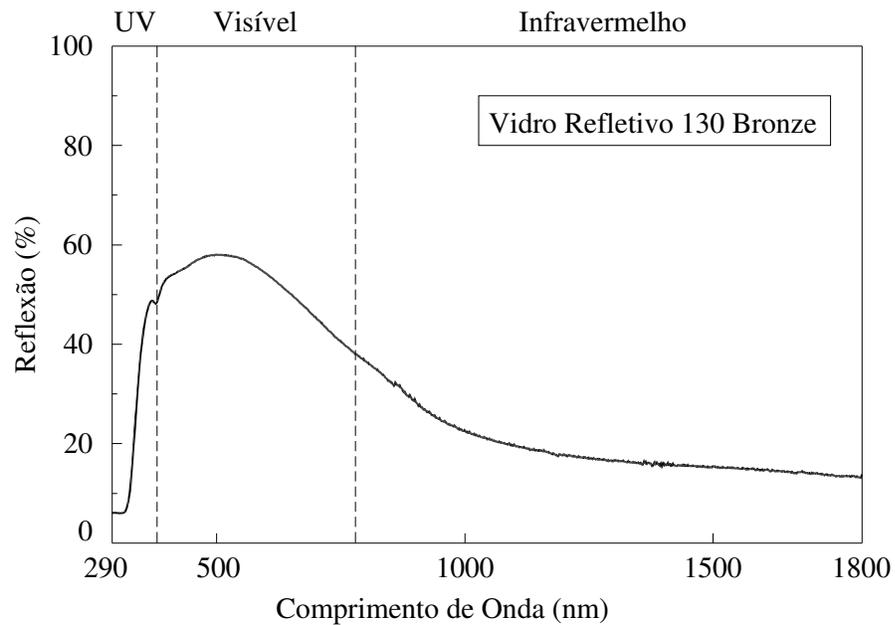


Figura 4.32 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-03) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze (3 mm).

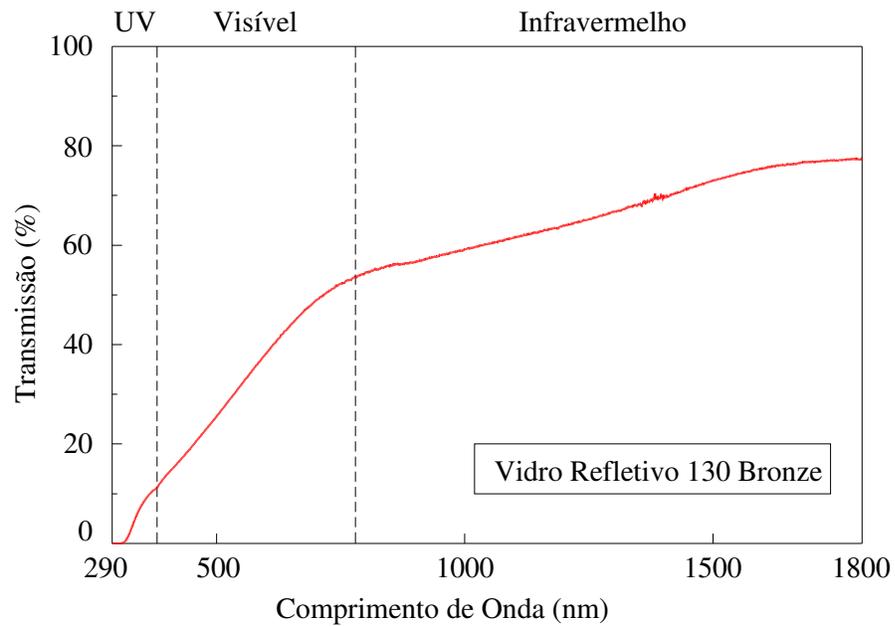


Figura 4.33 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-04) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze (4 mm).

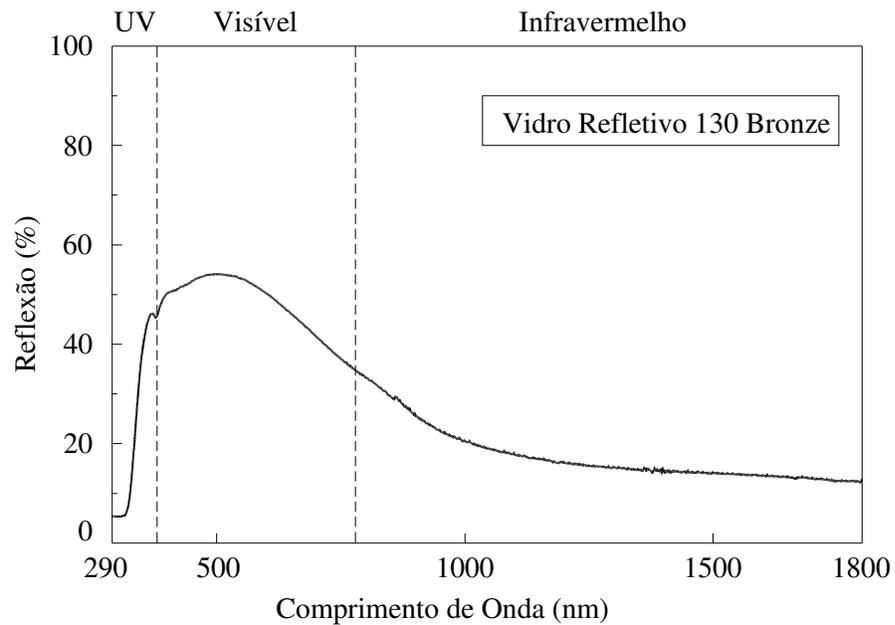


Figura 4.34 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-04) – Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze (4 mm).

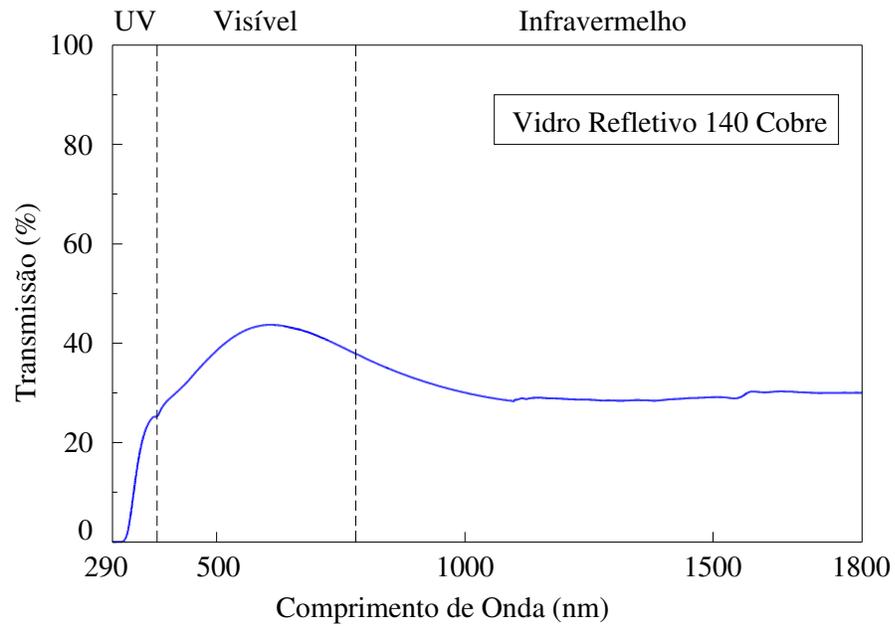


Figura 4.35 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (RF-05) – Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre (4 mm).

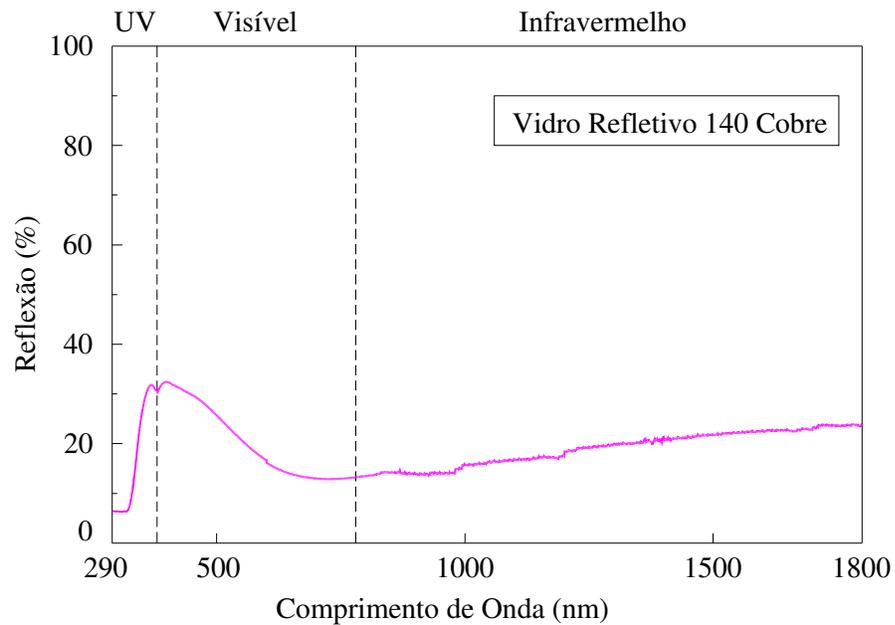


Figura 4.36 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (RF-05) – Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre (4 mm).

### 4.3.2 Análise dos resultados dos vidros refletivos monolíticos

#### 4.3.2.1 Transmissão

– Ultravioleta - A transmissão dos raios ultravioleta é pequena para os vidros refletivos monolíticos, com valores que variam de 4,27 a 11,58%, pode-se considerá-los como satisfatórios uma vez que transmitem uma pequena parcela que pode ser benéfica quanto aos efeitos bactericida e germicida.

– Visível - Os vidros refletivos monolíticos apresentam transmissão no visível que variam de 15,37 a 38,81%. O RF-01 que tem fator de proteção de 20% de luz visível, foi encontrado no ensaio 15,37%, este valor representa 76,85% da sua proposta. Os vidros RF-02, RF-03 e RF-04 têm fator de proteção de 30% e obtiveram 30,33%, 33,38% e 34,77% respectivamente, resultado excelente. O RF-05 tem fator de 40% e obteve 38,81% que representa 97% da proposta.

– Infravermelho – Apresentam transmissão no IV que variam de 17,53 a 69,84%. O ideal seria alta transmissão no visível e baixa no infravermelho, mas para as amostras RF-03 e RF-04 o comportamento apresenta-se oposto (Tabela 4.4).

#### 4.3.2.2 Reflexão

– Ultravioleta - A reflexão no UV situa-se no intervalo de 11,91 a 25,23%.

– Visível - A reflexão no visível situa-se no intervalo de 20,33 a 51,58%.

– Infravermelho - Para um bom desempenho térmico procuram-se produtos com altos coeficientes de reflexão no IV. Com a análise dos gráficos pode-se concluir que o vidro RF-01 apresenta o melhor desempenho com uma reflexão de 48%. Os vidros RF-02 e RF-05 têm valores percentuais de reflexão próximos, mesmo possuindo índice de controle de luz solar de 30 e 40%. A espessura não exerce influência na reflexão.

As amostras RF-03 e RF-04 apresentaram um comportamento que requer muito cuidado para o seu emprego. Esses vidros possuem baixos coeficientes de transmissão no visível e altos no infravermelho, e ao analisar os resultados da reflexão, verifica-se que a aplicação destes vidros deve ser evitada, pois estes apresentam alta reflexão no visível e baixa no infravermelho. O produto preconizado por esta pesquisa como um vidro ideal sob o ponto

de vista do conforto ambiental deve possuir baixos coeficientes de reflexão no visível e alto no infravermelho.

#### 4.3.2.3 Parâmetros de desempenho térmico dos vidros refletivos monolíticos

A Tabela 4.5 traz os resultados de absorção, da razão visível/infravermelho para a transmissão, do Fator Solar, do Ganho de Calor Solar e do Coeficiente de Sombreamento para as amostras dos vidros refletivos monolíticos ensaiados.

Tabela 4.5 – Parâmetro de desempenho térmico dos vidros refletivos monolíticos para radiação solar incidente de 692 W/m<sup>2</sup>.

Código da Amostra <sup>2</sup>	Transmissão Total (%)	Reflexão Total (%)	Absorção Total (%)	Razão Vis / IV	FS	G.C.S. (W/m <sup>2</sup> )				CS
						(Δt = 0°)	(Δt = 5°)	(Δt = 10°)	(Δt = 15°)	
RF-01	16,28	44,13	39,59	0,88	0,26	179,9	209,4	238,8	268,3	0,30
RF-02	23,51	17,72	58,77	1,37	0,37	256,0	285,5	314,9	344,4	0,43
RF-03	56,28	28,18	15,54	0,48	0,60	415,2	444,7	474,1	503,6	0,69
RF-04	54,53	25,99	19,48	0,52	0,59	408,3	437,7	467,2	496,6	0,68
RF-05	31,33	19,23	49,44	1,29	0,43	297,6	327,0	356,5	385,9	0,49

<sup>2</sup> RF-01 – Refletivo azul, 20% transmissão 4 mm; RF-02 – Refletivo cobre, 30% transmissão 3 mm; ; RF-03 – Refletivo bronze, 30% transmissão 3 mm; RF-04 – Refletivo bronze, 30% transmissão 4 mm; RF-05 – Refletivo cobre, 40% transmissão 4 mm.

– Transmissão total - A transmissão total para os vidros refletivos encontra-se entre 16,28 e 56,28%. O melhor desempenho foi o da amostra RF-01 com 16,28%, porém as amostras RF-02, com 23,51% e RF-05, com 31,33% obtiveram bons desempenhos. O emprego de produtos com as características das amostras RF-03 e RF-04 devem ser evitados, pois possuem transmissão total acima de 50%.

– Reflexão total – Esperava-se que os vidros refletivos tivessem maiores índices de reflexão, os quais variaram de 17,72 a 44,13%. O vidro RF-01 obteve o melhor resultado, 44,13%. Os vidros RF-03 e RF-04 alcançaram os valores de 28,18% e 25,99% mas por estarem associados a altas transmissões o seu emprego deve ser evitado.

– Razão visível/infravermelho - A amostra do vidro RF-01 obteve a razão visível/infravermelho de 0,88, mas dentre as amostras de vidros refletivos estudadas é a que apresenta o melhor desempenho, pois promovem o menor ganho de calor solar. As amostras dos vidros RF-02 e RF-05 atingiram valores para a razão visível/infravermelho de 1,37 e 1,29

respectivamente, mas a alta absorção eleva os valores dos ganhos de calor solar para estes vidros. Nos vidros RF-03 e RF-04 foram encontrados valores de 0,48 e 0,52 para a razão Vis/IV.

#### 4.4 PELÍCULAS DE CONTROLE SOLAR (PRIVACIDADE)

##### 4.4.1 Resultados experimentais

Na Tabela 4.6 são apresentados os resultados do desempenho ótico (comportamento espectrofotométrico) para as películas de controle solar.

Tabela 4.6 – Desempenho ótico das películas de controle solar.

Código da Amostra <sup>3</sup>	Transmissão					Reflexão			
	UV (%) 290a380nm	Vis (%) 380a780nm	IV (%) 780a1800nm	Total (%) 290a1800nm	Razão Vis / IV	UV (%) 290a380nm	Vis (%) 380a780nm	IV (%) 780a1800nm	Total (%) 290a1800nm
PC-01	0,39	18,43	82,54	60,66	0,22	6,24	6,39	8,58	7,86
PC-02	0,67	19,00	82,85	61,04	0,23	6,55	6,42	8,30	7,70
PC-03	0,45	32,53	80,83	63,25	0,40	6,58	6,50	8,51	7,86
PC-04	0,14	20,86	83,44	61,90	0,25	6,32	6,97	8,41	7,90
PC-05	0,26	20,08	82,50	61,06	0,24	4,73	5,44	7,64	6,88
PC-06	2,34	37,00	83,49	66,34	0,44	6,50	6,83	8,12	7,68

<sup>3</sup> : PC-01– Película de Controle Solar G5, azul, Intercontrol; PC-02– Película de Controle Solar G5, fumê, Sun Tek; PC-03 – Película de Controle Solar G20, azul, Intercontrol; PC-04– Película de Controle Solar G20, fumê, Sun Tek; PC-05 – Película de Controle Solar G20, fumê, Solar Gard; PC-06– Película de Controle Solar G50, azul, Intercontrol.

Nas Figuras 4.37 a 4.48 são apresentados gráficos que representam as curvas de transmissão e reflexão (comportamento espectrofotométrico) para as Películas de Controle Solar.

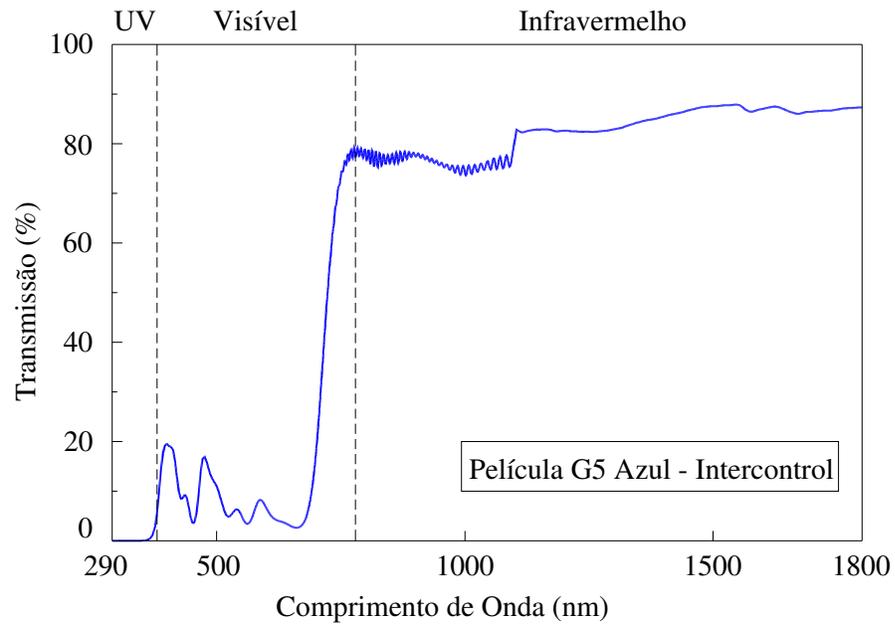


Figura 4.37 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-01) – Película de Controle Solar G5 Azul – Intercontrol.

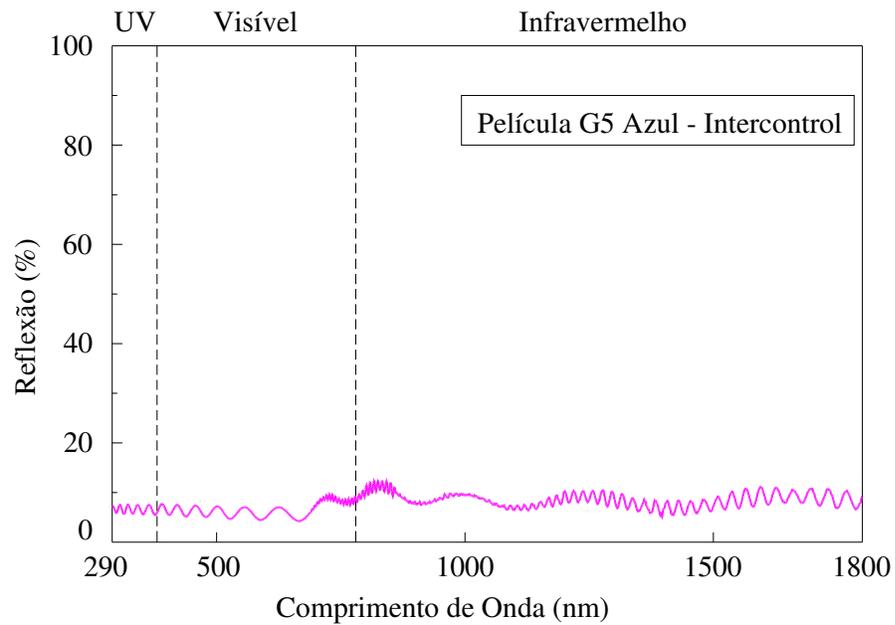


Figura 4.38 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-01) – Película de Controle Solar G5 Azul – Intercontrol.

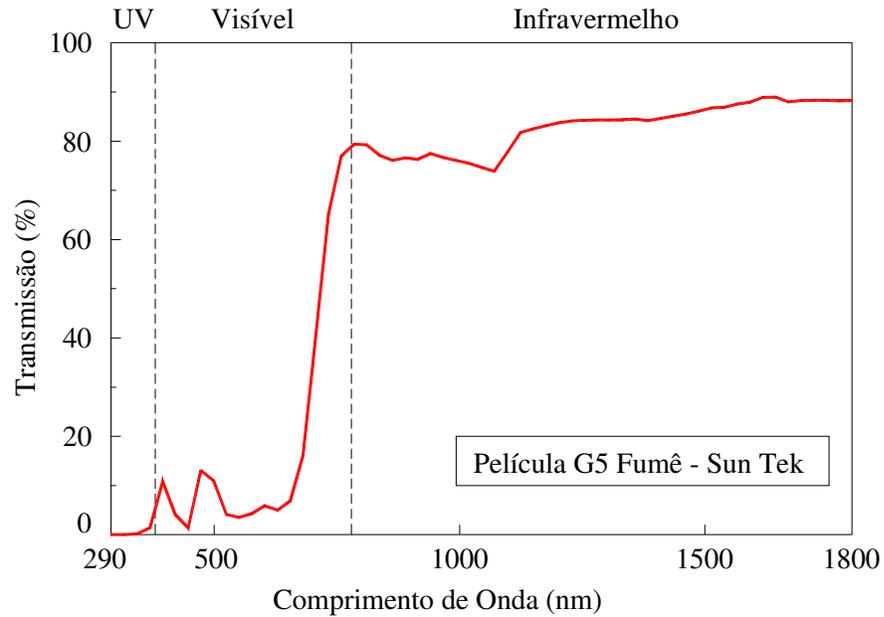


Figura 4.39 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-02) – Película de Controle Solar G5 Fumê – Sun Tek.

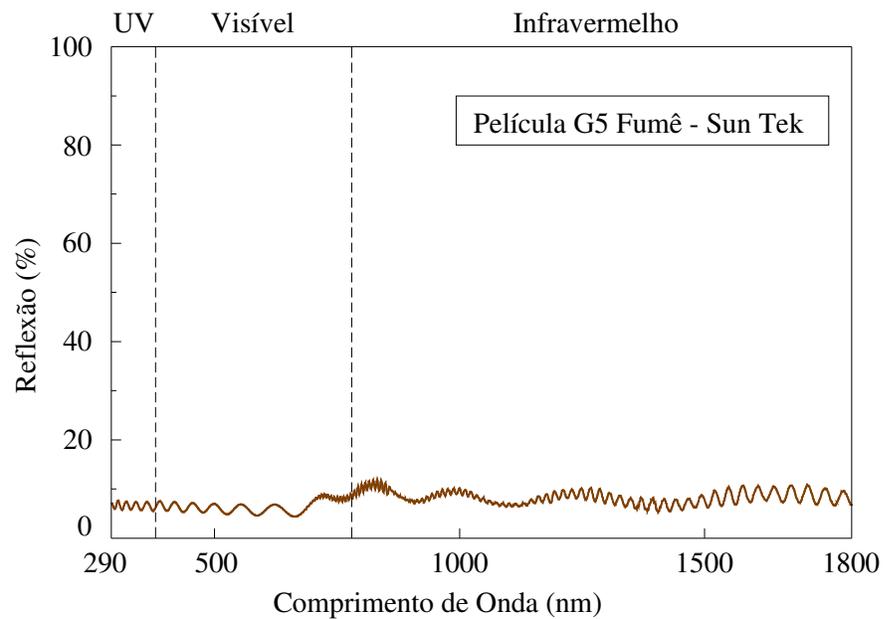


Figura 4.40 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-02) – Película de Controle Solar G5 Fumê – Sun Tek.

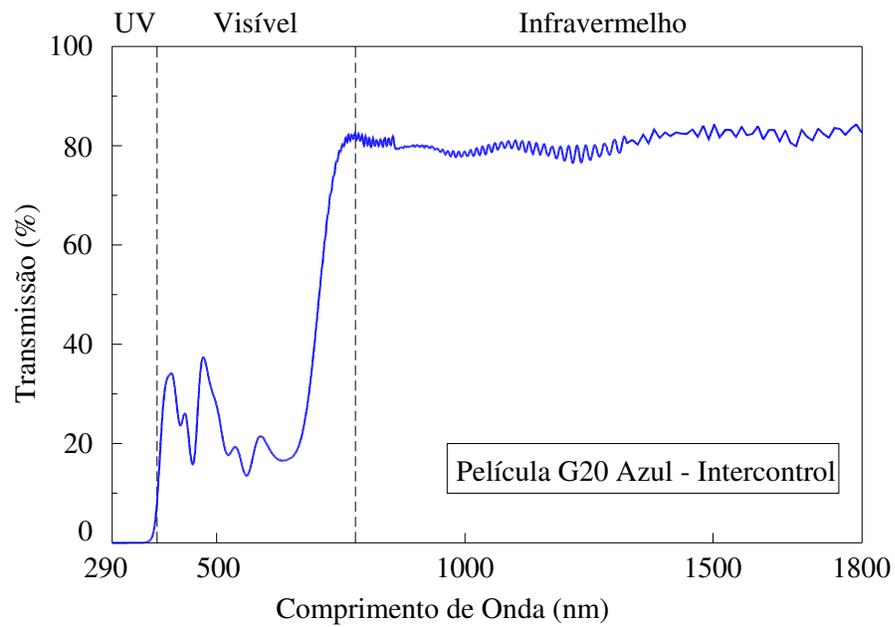


Figura 4.41 - Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-03) – Película de Controle Solar G20 Azul – Intercontrol.

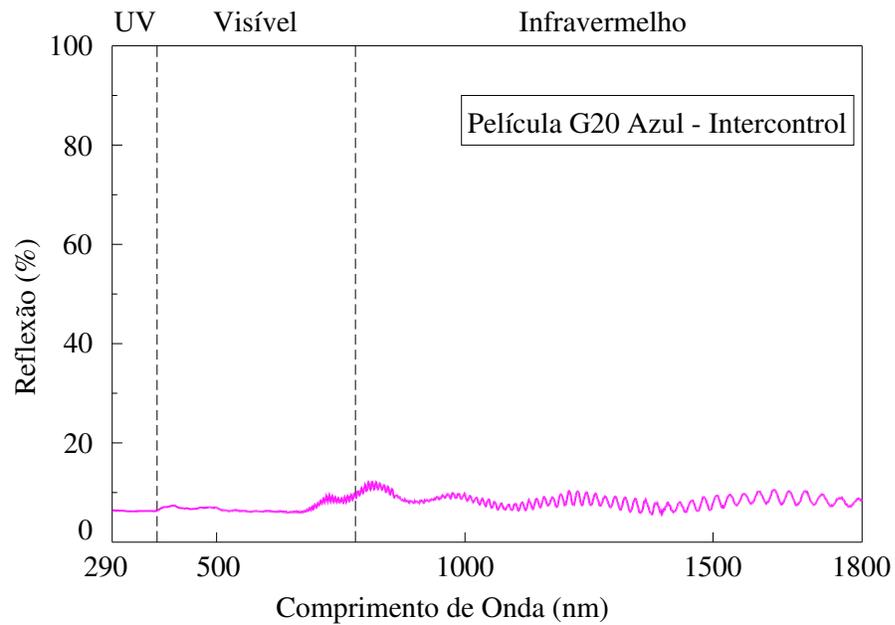


Figura 4.42 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-03) – Película de Controle Solar G20 Azul – Intercontrol.

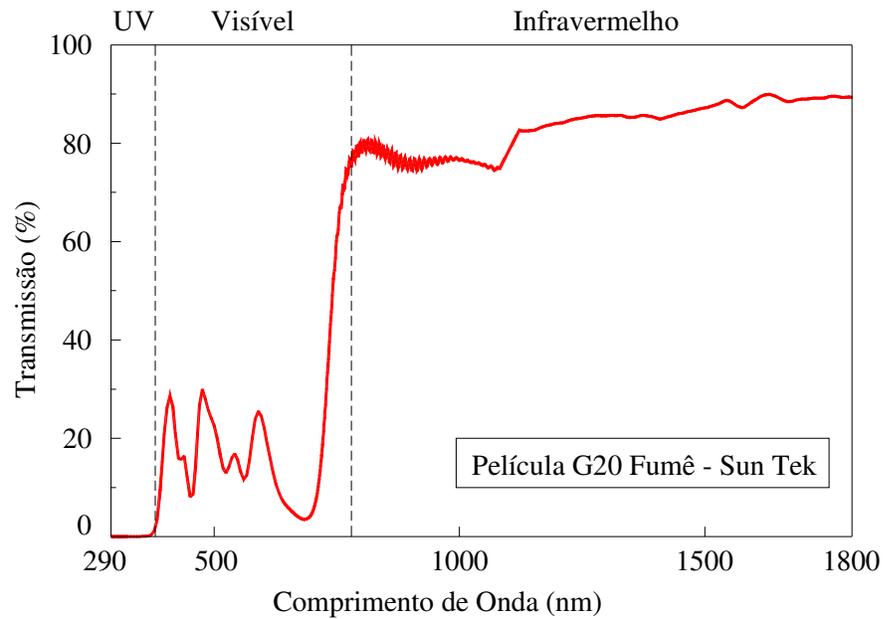


Figura 4.43 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-04) – Película de Controle Solar G20 Fumê – Sun Tek.

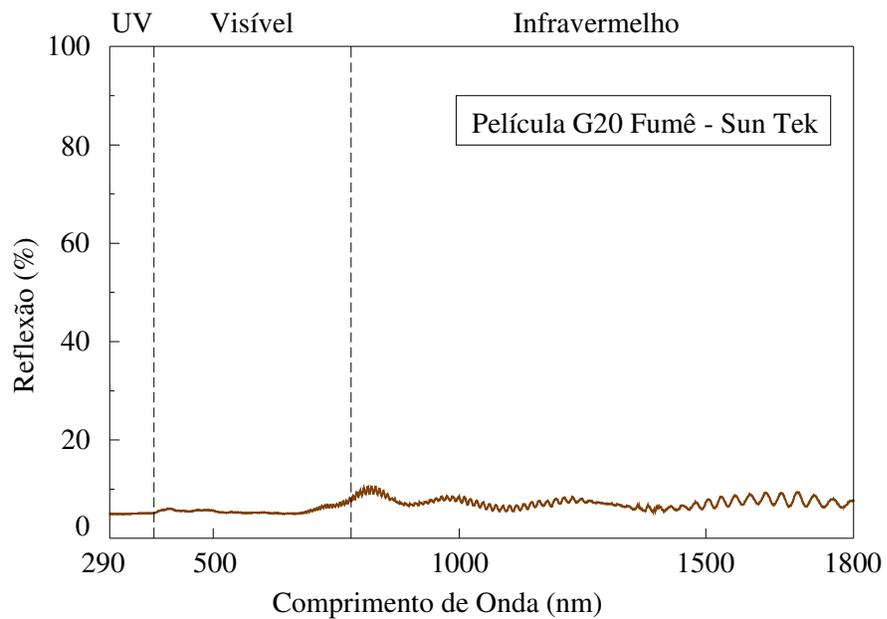


Figura 4.44 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-04) – Película de Controle Solar G20 Fumê – Sun Tek.

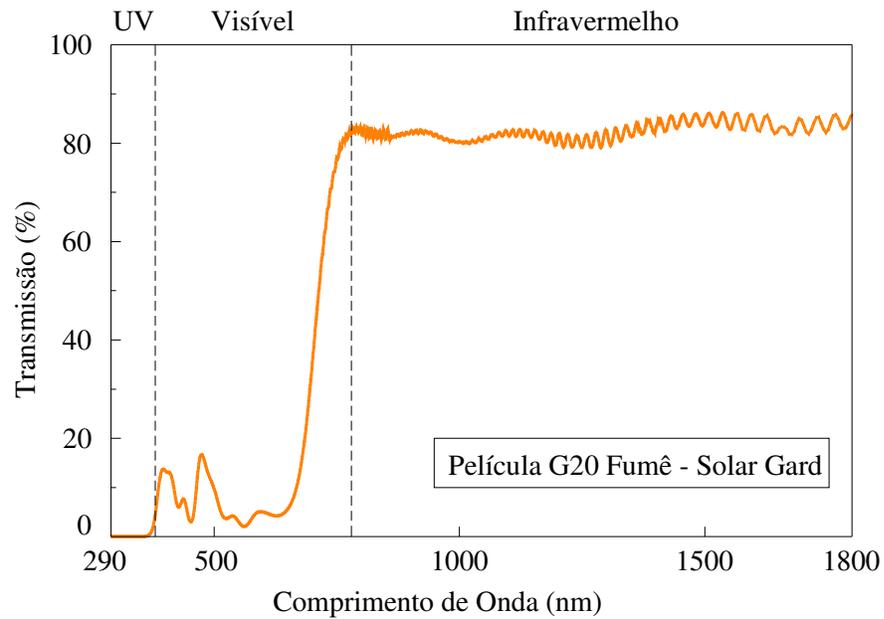


Figura 4.45 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-05) – Película de Controle Solar G20 Fumê – Solar Gard.

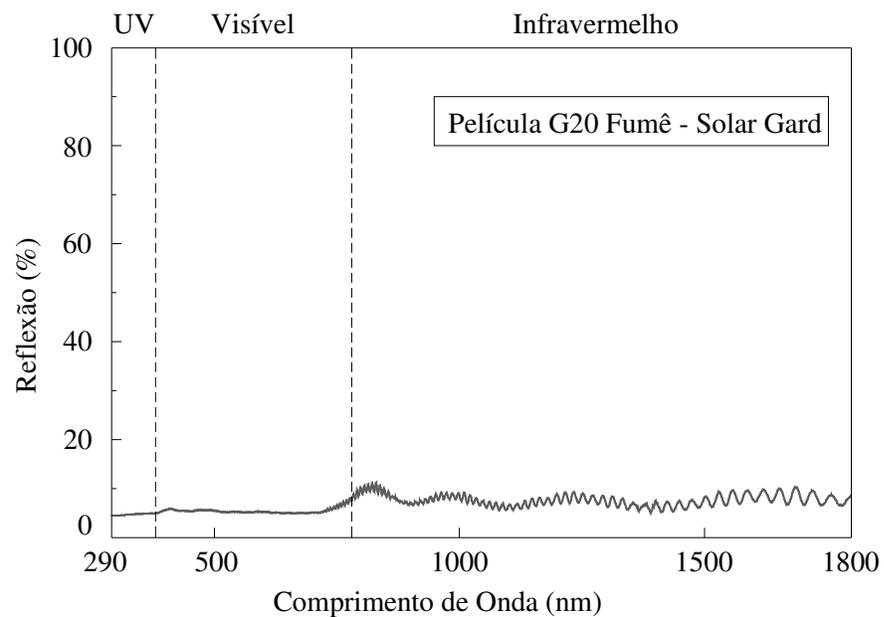


Figura 4.46 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-05) – Película de Controle Solar G20 Fumê – Solar Gard.

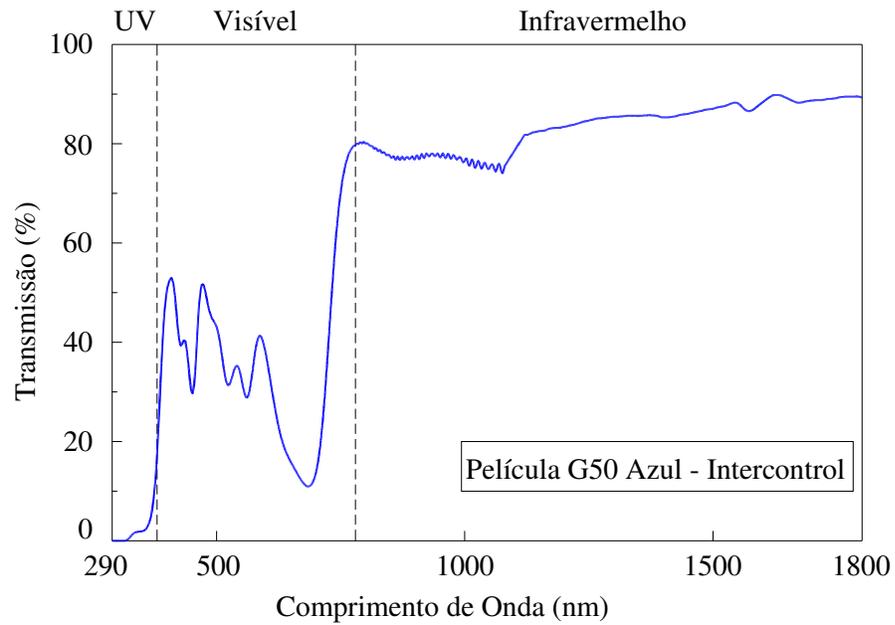


Figura 4.47 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PC-06) – Película de Controle Solar G50 Azul – Intercontrol.

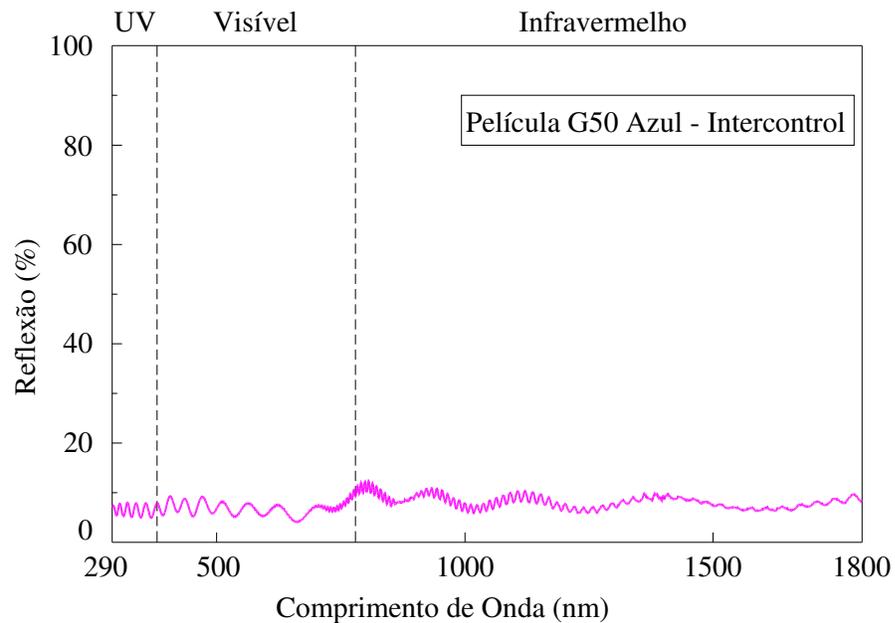


Figura 4.48 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PC-06) – Película de Controle Solar G50 Azul – Intercontrol.

#### 4.4.2 Análise dos resultados das películas de controle solar

##### 4.4.2.1 Transmissão

– Ultravioleta - A transmissão dos raios ultravioleta é muito pequena para as películas de controle solar, com valores que variaram de 0,14 a 2,34%, apenas a PC-06 apresentou índice maior que 1%. Estes produtos são comercializados com a proposta de 99% de proteção dos raios UV, sendo assim, os resultados comprovaram a eficiência destes produtos. A película G-50 obteve transmissão maior que 1%, mesmo assim, o valor encontrado de 2,34% é muito baixo.

– Visível - As películas de controle solar apresentaram baixa transmissão no visível, que variaram de 18,43 a 37,00%. Como o objetivo deste produto é garantir privacidade aos ambientes, os valores encontrados são desejáveis.

– Infravermelho – As Películas de Controle Solar apresentaram transmissão no IV acima de 80% (variando de 80,83 a 83,49%). Estas películas são comercializadas com a proposta de redução de 40% de calor, porém os resultados mostraram valores acima de 80%, devendo-se ainda, levar em consideração a parcela absorvida e reirradiada para o interior. O seu desempenho não correspondeu a sua proposta de desempenho térmico.

##### 4.4.2.2 Reflexão

– Este produto não possui camada metalizada, que é o elemento responsável pelo comportamento refletivo. Os resultados para ultravioleta, visível e infravermelho ficaram abaixo de 8%.

##### 4.4.2.3 Parâmetros de desempenho térmico das películas de controle solar

A Tabela 4.7 traz os resultados de absorção, da razão visível/infravermelho para a transmissão, do Fator Solar, do Ganho de Calor Solar e do Coeficiente de Sombreamento para as amostras das Películas de Controle Solar.

Tabela 4.7 – Parâmetro de desempenho térmico das películas de controle solar para radiação solar incidente de  $692 \text{ W/m}^2$ .

Código da Amostra <sup>3</sup>	Transmissão Total (%)	Reflexão Total (%)	Absorção Total (%)	Razão Vis / IV	FS	GCS ( $\text{W/m}^2$ )				CS
						( $\Delta t = 0^\circ$ )	( $\Delta t = 5^\circ$ )	( $\Delta t = 10^\circ$ )	( $\Delta t = 15^\circ$ )	
PC-01	60,66	7,86	31,48	0,22	0,68	470,6	500,0	529,5	558,9	0,78
PC-02	61,04	7,70	31,26	0,23	0,68	470,6	500,0	529,5	558,9	0,78
PC-03	63,25	7,86	28,89	0,40	0,70	484,4	513,9	543,3	572,8	0,80
PC-04	61,90	7,90	30,20	0,25	0,69	477,5	506,9	536,4	565,8	0,79
PC-05	61,06	6,88	32,06	0,24	0,69	477,5	506,9	536,4	565,8	0,79
PC-06	66,34	7,68	25,98	0,44	0,72	498,2	527,7	557,1	586,6	0,83

<sup>3</sup> : PC-01– Película de Controle Solar G5, azul, Intercontrol; PC-02– Película de Controle Solar G5, fumê, Sun Tek; PC-03 – Película de Controle Solar G20, azul, Intercontrol; PC-04– Película de Controle Solar G20, fumê, Sun Tek; PC-05 – Película de Controle Solar G20, fumê, Solar Gard; PC-06– Película de Controle Solar G50, azul, Intercontrol.

– Transmissão total - A transmissão total para as Películas de Controle Solar apresentou resultados acima de 60%, valores estes considerados altos.

– Reflexão total – O objetivo deste produto não é a reflexão, apresentando média abaixo de 8%.

– Absorção total – As Películas de Controle Solar aplicadas em vidros proporcionam uma certa homogeneidade para a absorção. Os resultados encontrados têm média de 30%.

– Razão visível/infravermelho – O maior índice encontrado é de 0,44, todas as amostras tem valores muito pequenos.

– O ganho de calor solar está associado a uma alta transmissão total e alto Fator Solar. Todas as amostras apresentaram valores elevados de ganho de calor solar, com baixos índices da razão visível/infravermelho.

A comparação do desempenho das películas para transmissão entre os fornecedores é apresentada nas Figuras 4.49 e 4.50 respectivamente para as películas de controle solar G-5 e G-20.

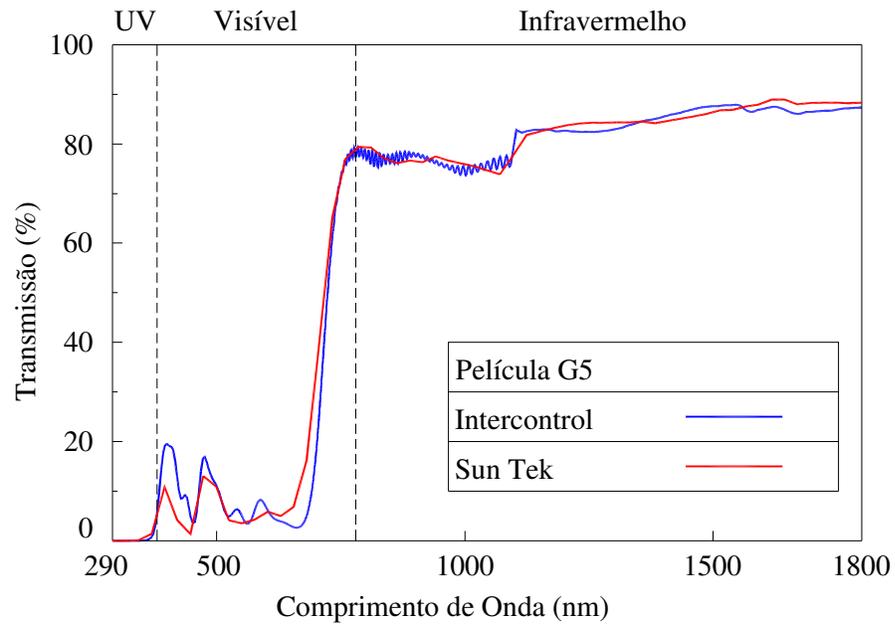


Figura 4.49 – Comparação de desempenho das Películas de Controle Solar G5 da Intercontrol e Sun Tek.

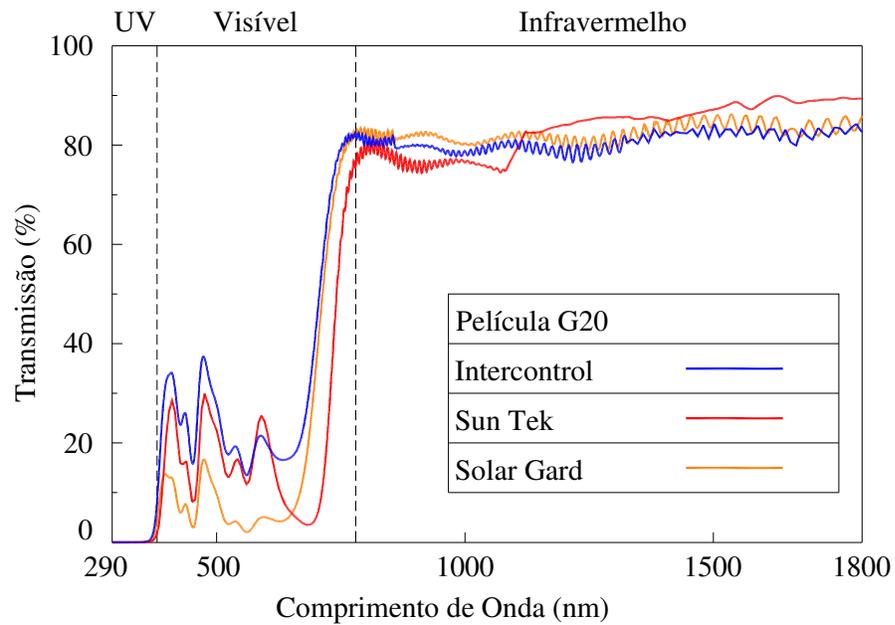


Figura 4.50 – Comparação de desempenho das Películas de Controle Solar G20 da Intercontrol, Sun Tek e Solar Gard.

Ao comparar o comportamento das Películas G-5 na Figura 4.49, pode-se observar que os desempenhos das películas são praticamente idênticos. A razão visível/infravermelho é de 0,22 para a película da Intercontrol e de 0,23 para a película Sun Tek.

O uso destas películas para controle do G.C.S. é equivocado, pois estas são inadequadas devido à alta transmissão no infravermelho. É comum estas serem vendidas para controlar o ganho de calor. Por serem escuras, o consumidor desavisado tem a falsa idéia de bom desempenho, no entanto este desempenho é encontrado apenas no visível, com intervalo de 18,43 a 37,00% de transmissão. Os dados devem ser utilizados de acordo com cada projeto, finalidade e necessidade do ambiente. Estas películas produzem uma atenuação satisfatória apenas em comparação com os dados dos vidros incolores.

#### 4.5 PELÍCULAS REFLETIVAS (CONFORTO)

##### 4.5.1 Resultados experimentais

A Tabela 4.8 apresenta o desempenho ótico das películas refletivas.

Tabela 4.8 – Desempenho ótico das películas refletivas.

Código da Amostra <sup>4</sup>	Transmissão					Reflexão			
	UV (%) 290a380nm	Vis (%) 380a780nm	IV (%) 780a1800nm	Total (%) 290a1800nm	Razão Vis/IV	UV (%) 290a380nm	Vis (%) 380a780nm	IV (%) 780a1800nm	Total (%) 290a1800nm
PR-01	0,06	12,40	15,38	13,68	0,81	5,18	17,62	51,48	39,75
PR-02	0,03	8,33	13,26	11,16	0,63	5,20	15,64	55,28	41,80
PR-03	0,48	18,31	11,07	12,36	1,65	6,55	55,40	57,63	53,99
PR-04	0,37	17,34	11,05	12,08	1,57	6,07	55,42	55,57	52,58
PR-05	0,72	14,80	6,40	8,29	2,31	34,68	63,88	72,34	67,85
PR-06	0,09	9,44	16,18	13,44	0,58	4,93	13,71	49,56	37,41
PR-07	0,03	9,65	12,53	11,02	0,77	4,79	19,75	55,62	43,09
PR-08	0,04	8,78	8,39	8,00	1,05	6,04	29,21	57,77	47,12
PR-09	0,12	8,92	9,00	8,45	0,99	6,03	28,35	56,36	45,94
PR-10	0,38	13,71	14,53	13,47	0,94	4,98	24,05	50,00	40,44
PR-11	1,39	11,52	12,41	11,52	0,93	5,97	20,54	51,35	40,49

<sup>4</sup> PR-01 – Película Refletiva, fumê, Intercontrol; PR-02 – Película Refletiva, fumê, Sun Control; PR-03 – Película Refletiva, prata, Intercontrol; PR-04 – Película Refletiva, prata, Sun Control; PR-05 – Película Refletiva, prata, Solar Gard; PR-06 – Película Refletiva, bronze, Intercontrol; PR-07 – Película Refletiva, bronze, Solar Gard; PR-08 – Película Refletiva, azul escuro, Intercontrol; PR-09 – Película Refletiva, azul, Intercontrol; PR-10 – Película Refletiva, verde, Intercontrol; PR-11 – Película Refletiva, verde, Sun Control.

Nas Figuras 4.51 a 4.72 são apresentados gráficos que representam as curvas de transmissão e reflexão (comportamento espectrofotométrico) para as películas refletivas.

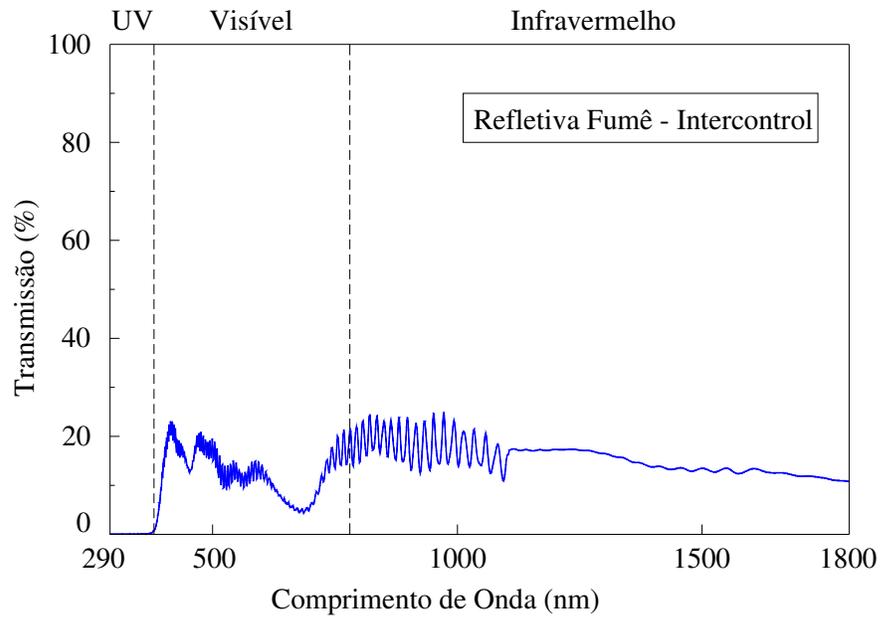


Figura 4.51 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-01) – Película Refletiva Fumê – Intercontrol.

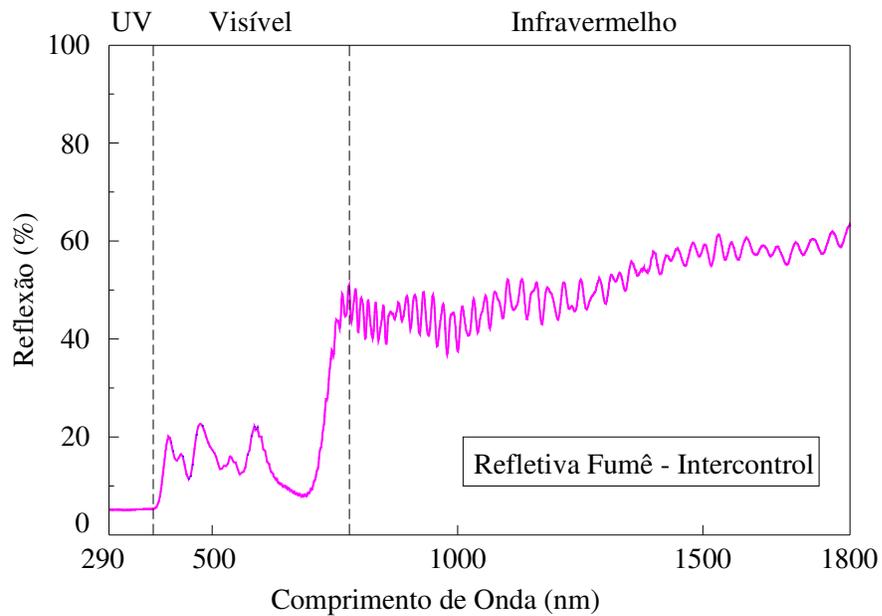


Figura 4.52 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-01) – Película Refletiva Fumê – Intercontrol.

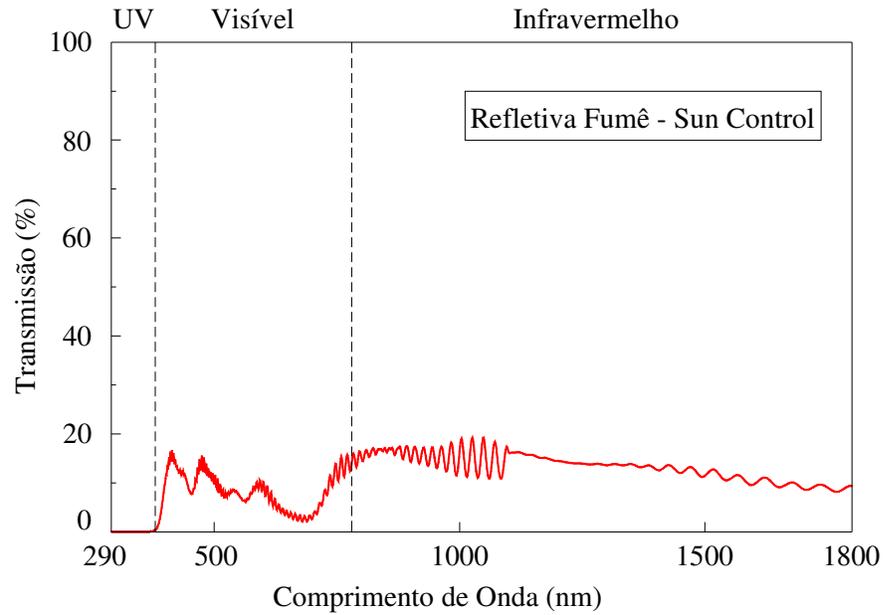


Figura 4.53 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-02) – Película Refletiva Fumê – Sun Control.

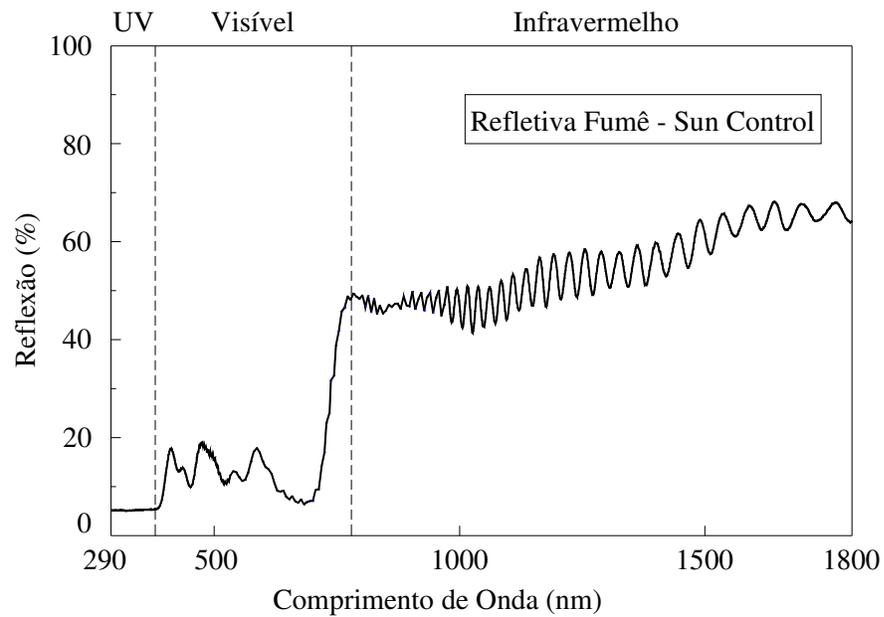


Figura 4.54 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-02) – Película Refletiva Fumê – Sun Control.

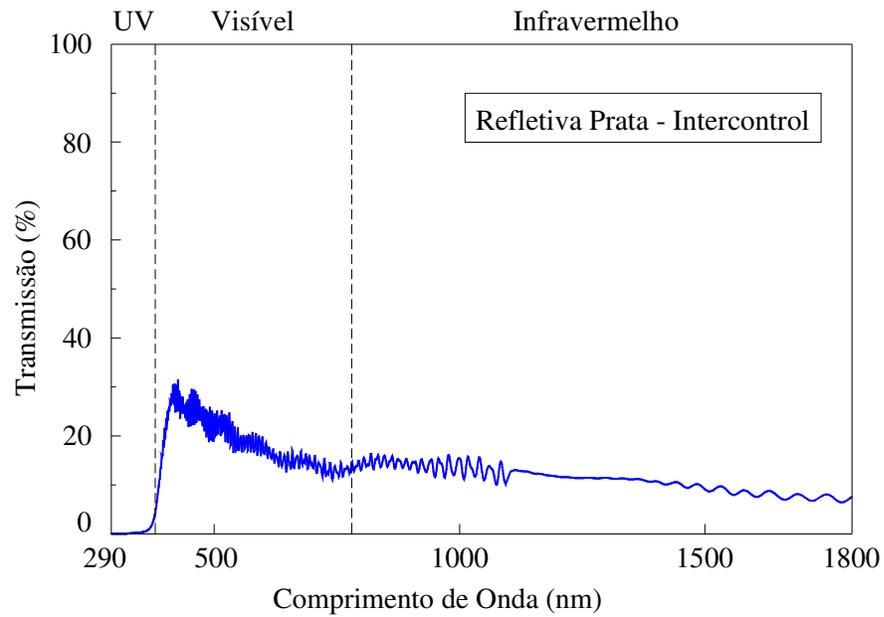


Figura 4.55 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-03) – Película Refletiva Prata – Intercontrol.

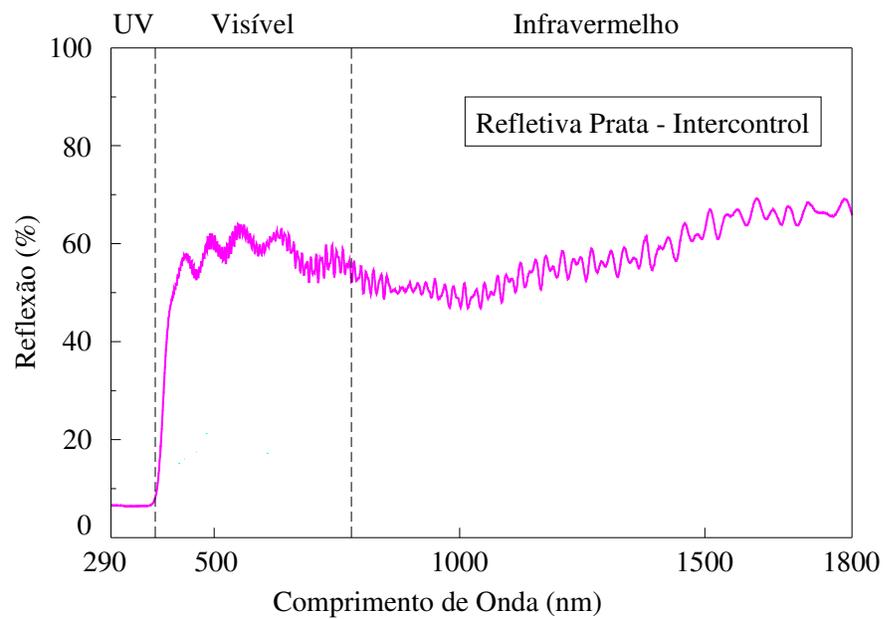


Figura 4.56 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-03) – Película Refletiva Prata – Intercontrol.

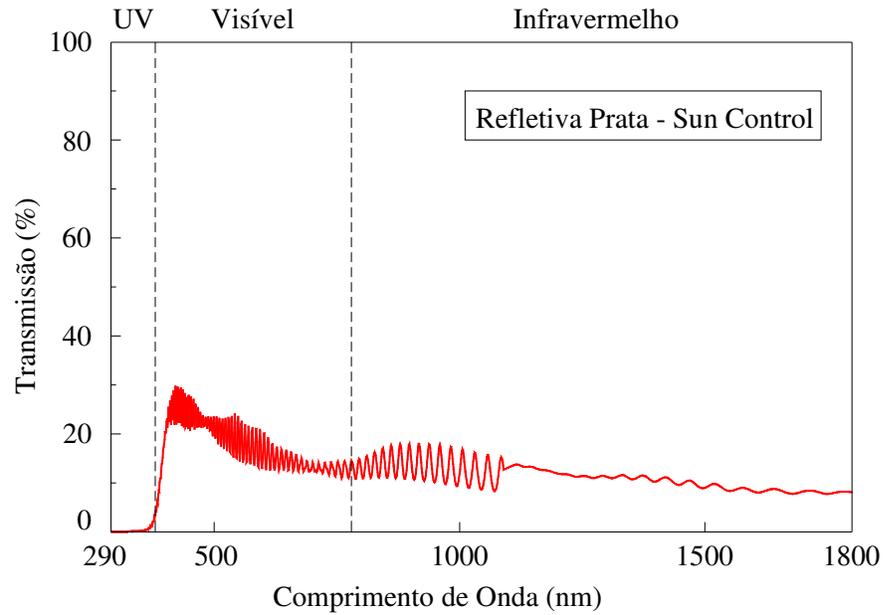


Figura 4.57 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-04) – Película Refletiva Prata – Sun Control.

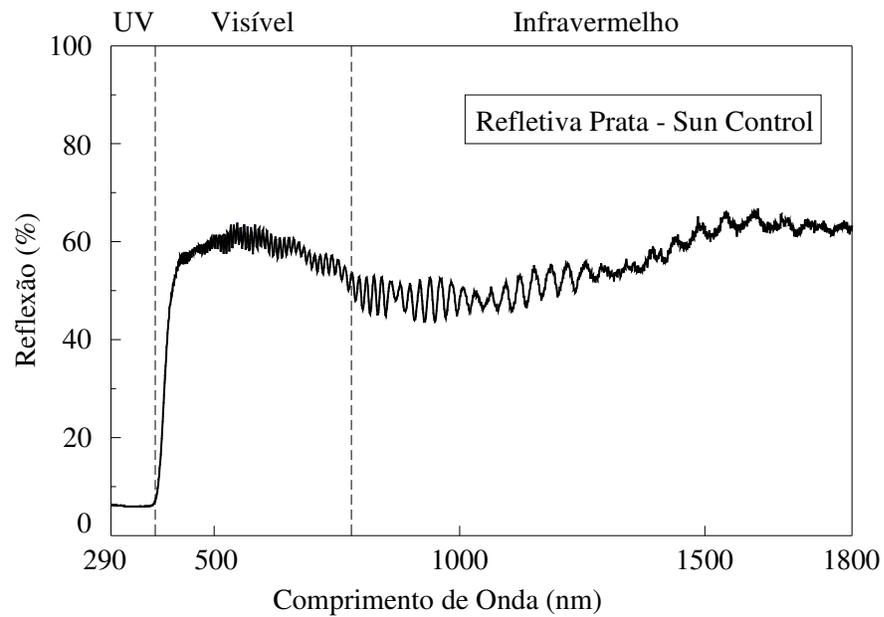


Figura 4.58 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-04) – Película Refletiva Prata – Sun Control.

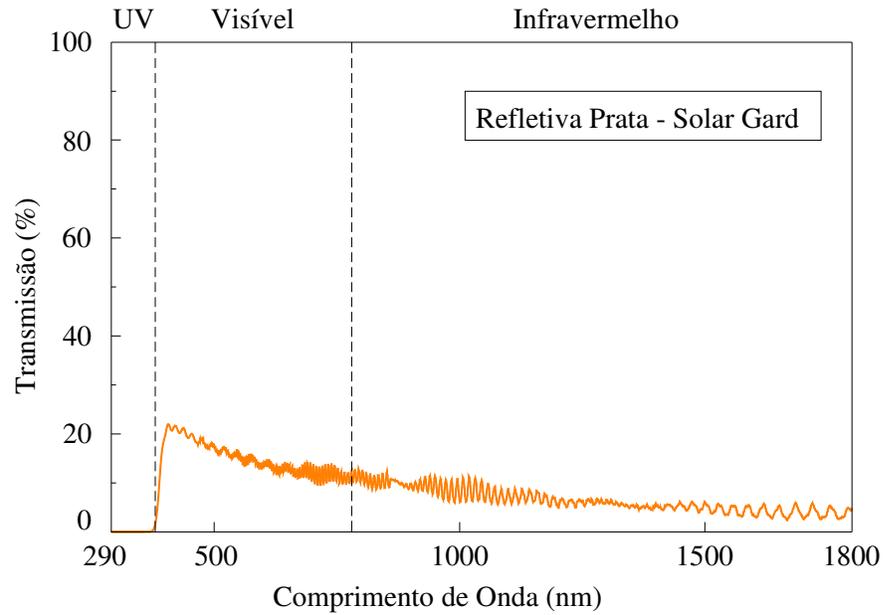


Figura 4.59 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-05) – Película Refletiva Prata – Solar Gard.

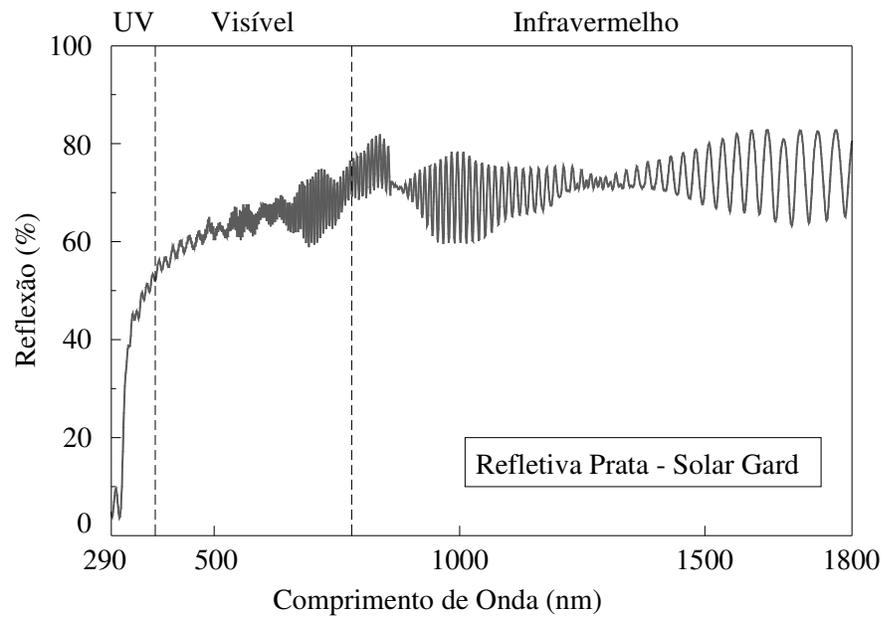


Figura 4.60 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-05) – Película Refletiva Prata – Solar Gard.

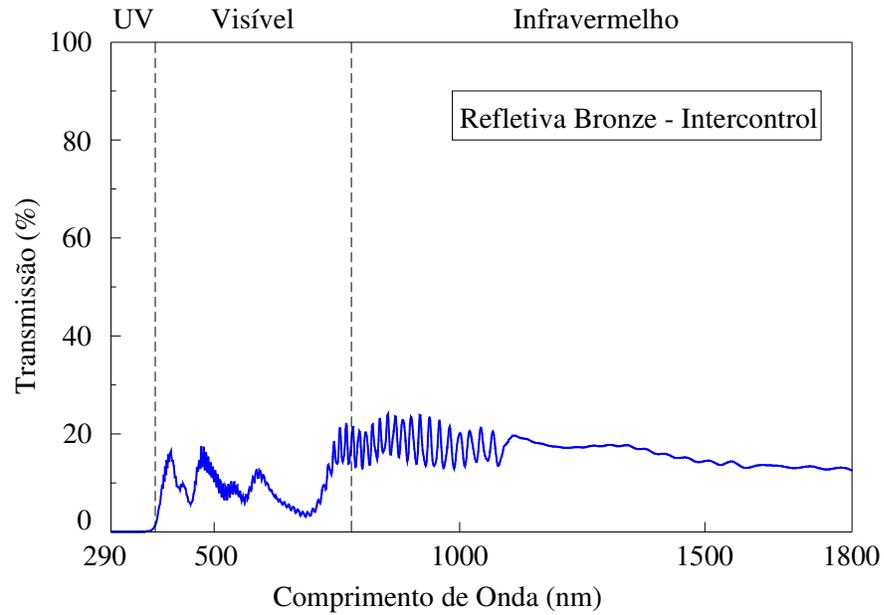


Figura 4.61 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-06) – Película Refletiva Bronze – Intercontrol.

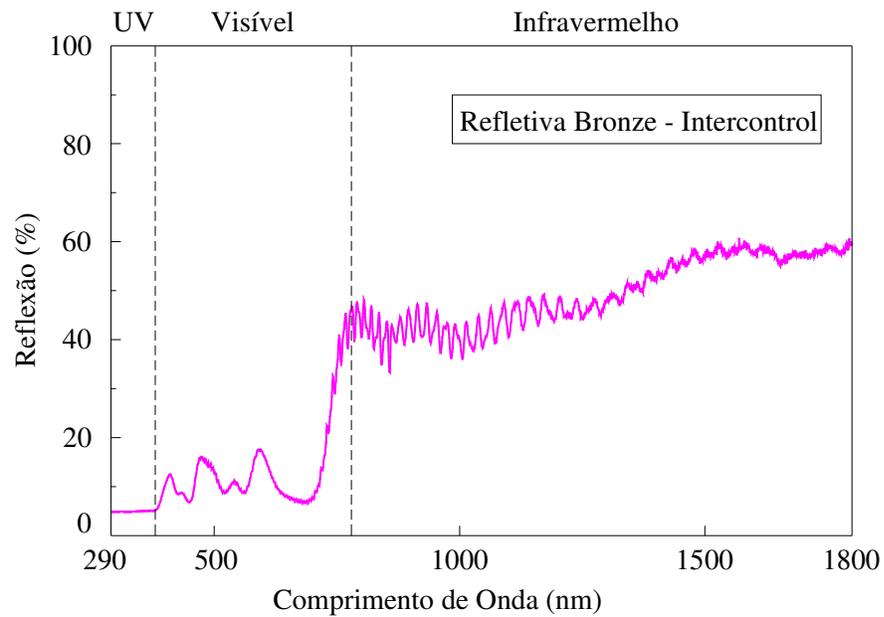


Figura 4.62 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-06) – Película Refletiva Bronze – Intercontrol.

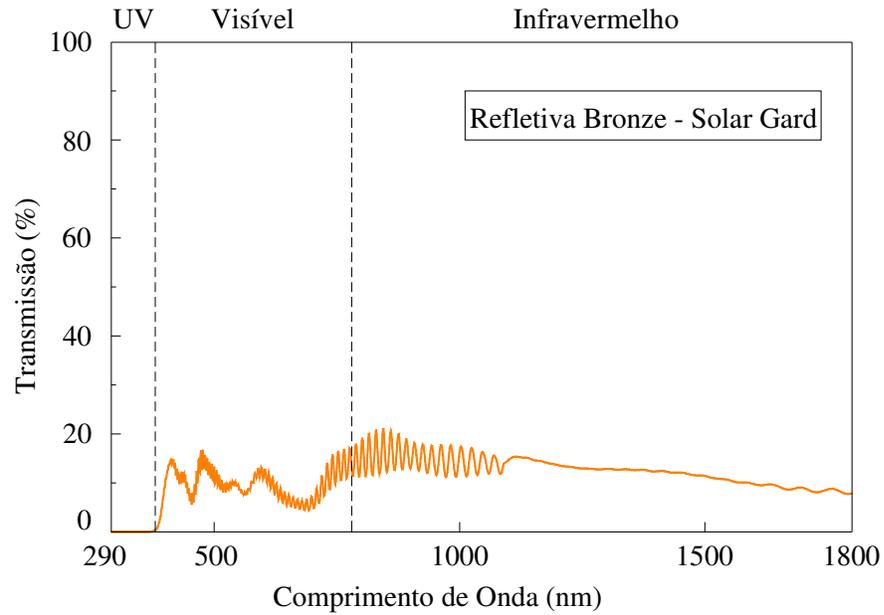


Figura 4.63 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-07) – Película Refletiva Bronze – Solar Gard.

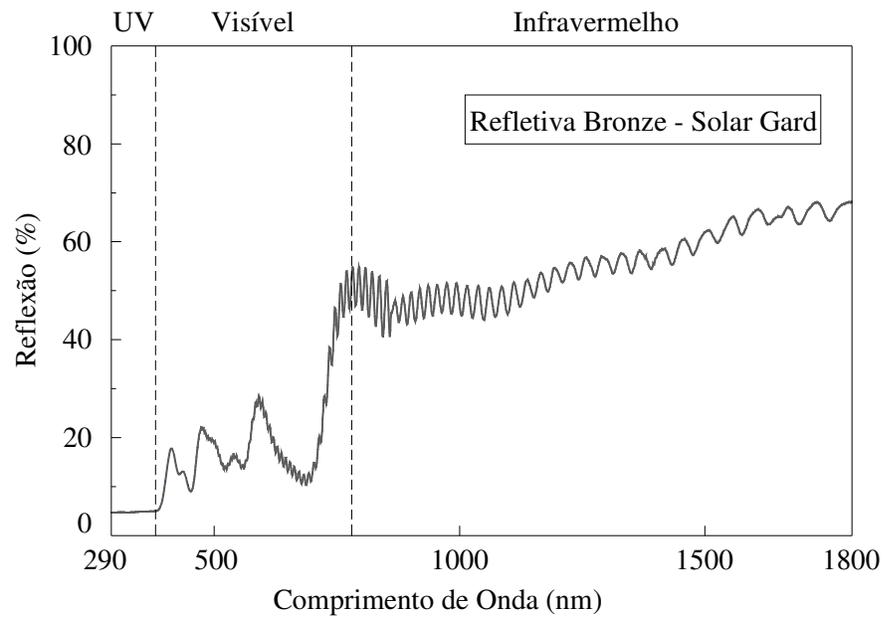


Figura 4.64 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-07) – Película Refletiva Bronze – Solar Gard.

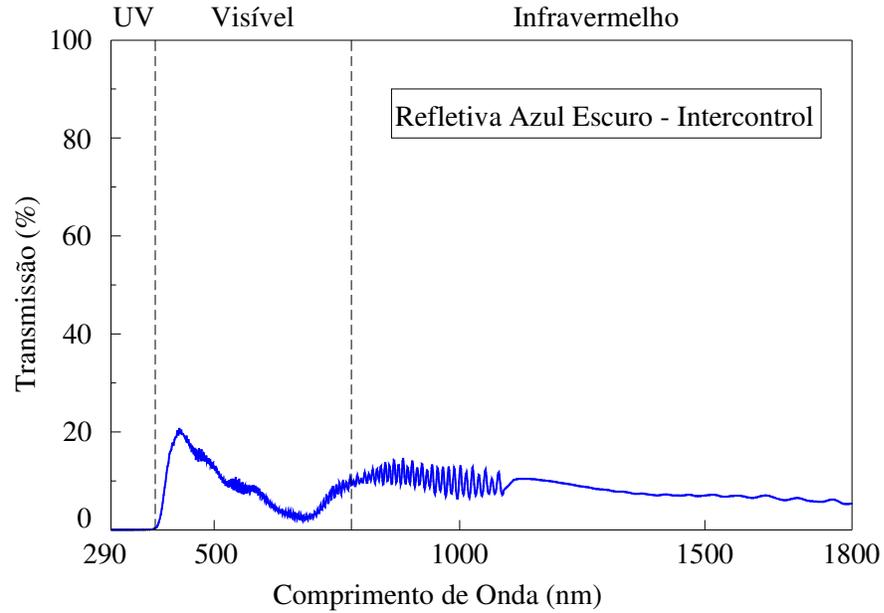


Figura 4.65 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-08) – Película Refletiva Azul Escuro – Intercontrol.

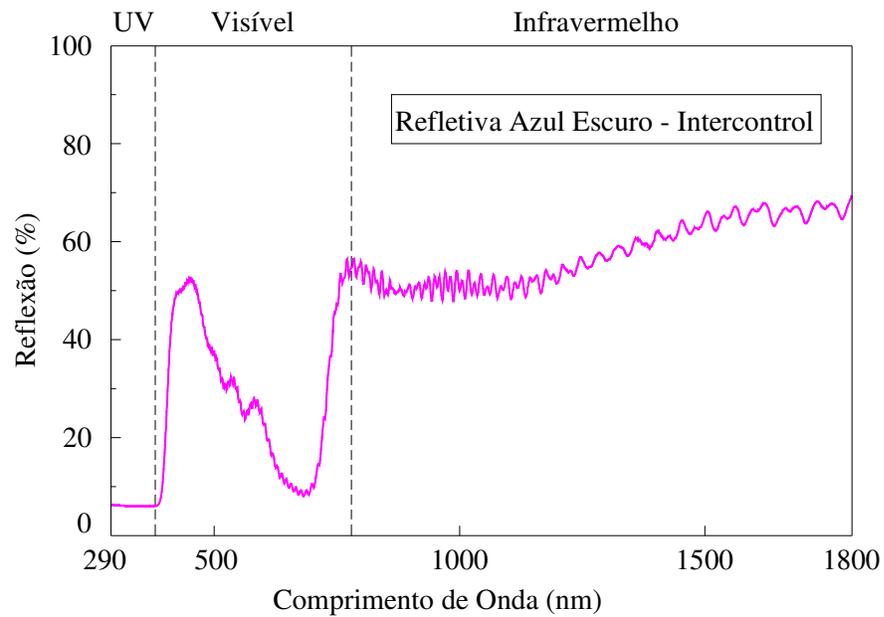


Figura 4.66 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-08) – Película Refletiva Azul Escuro – Intercontrol.

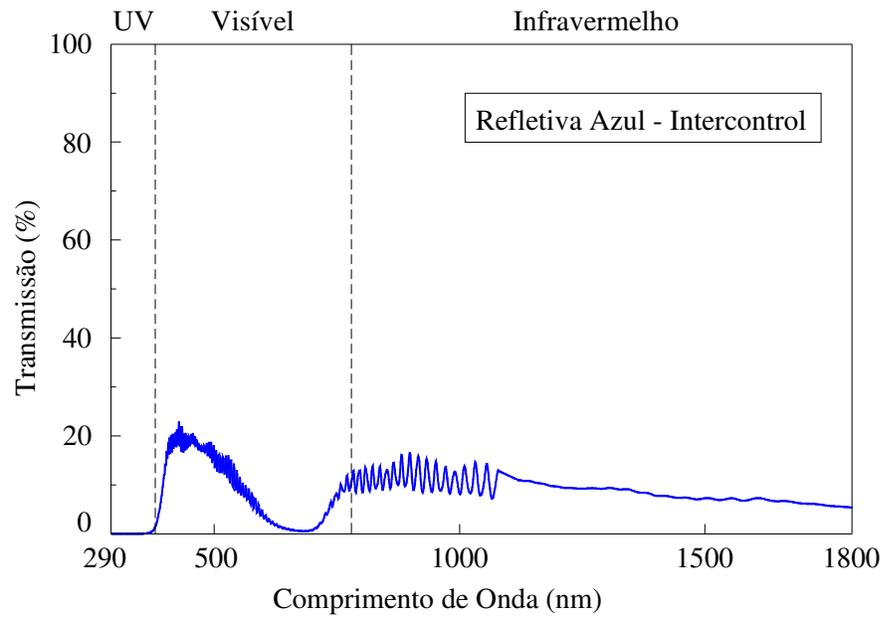


Figura 4.67 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-09) – Película Refletiva Azul – Intercontrol.

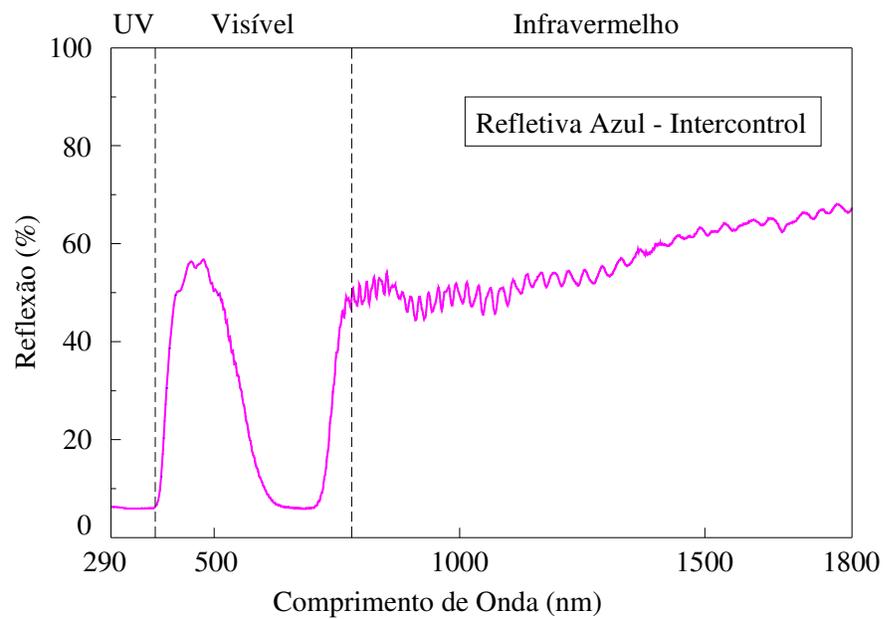


Figura 4.68 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-09) – Película Refletiva Azul – Intercontrol.

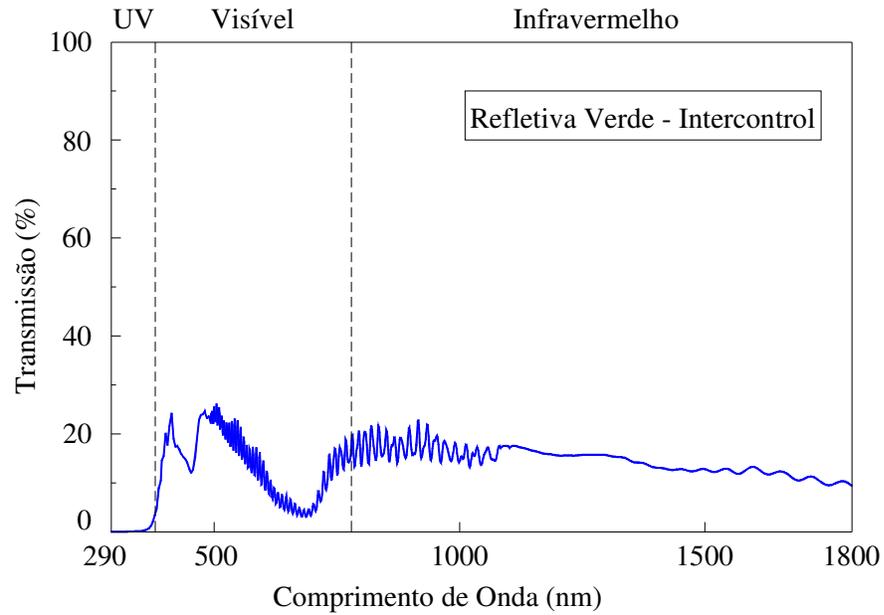


Figura 4.69 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-10) – Película Refletiva Verde – Intercontrol.

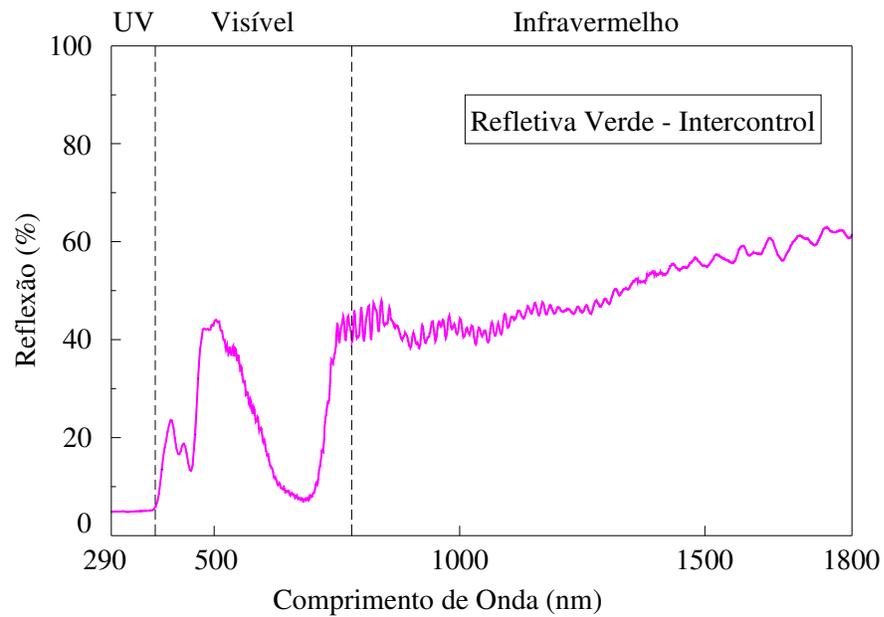


Figura 4.70 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-10) – Película Refletiva Verde – Intercontrol.

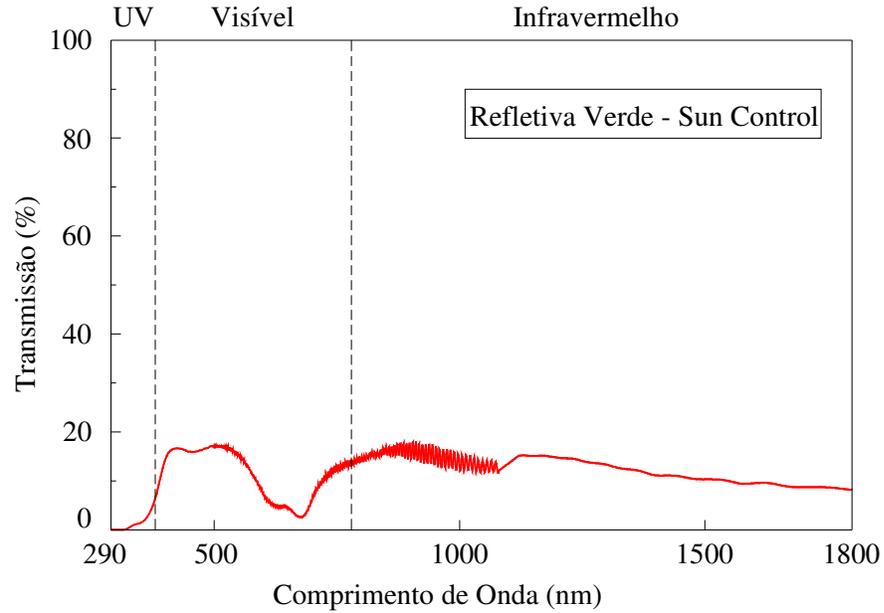


Figura 4.71 – Comportamento espectrofotométrico de transmissão (PR-11) – Película Refletiva Verde – Sun Control.

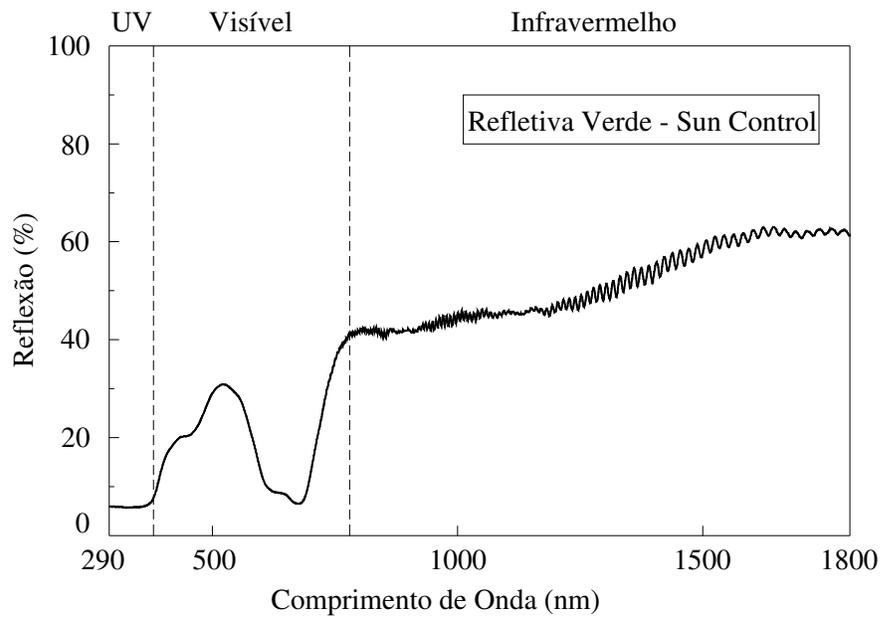


Figura 4.72 – Comportamento espectrofotométrico de reflexão (PR-11) – Película Refletiva Verde – Sun Control.

## 4.5.2 Análise dos resultados das películas refletivas

### 4.5.2.1 Transmissão

– Ultravioleta – As películas refletivas também conhecidas como películas de conforto são comercializadas com a proposta de 99% de proteção dos raios UV, os resultados comprovam a eficiência desta proteção.

– Visível – Todas as películas possuem índices baixos de transmissão no visível, variando de 8,33 a 18,31%.

– Infravermelho – A transmissão para a região do infravermelho apresenta valores baixos, mas do ponto de vista do conforto térmico um resultado excelente, pois variam de 6,40 a 16,18%. Estes resultados quando utilizados no cálculo da razão visível/infravermelho e no ganho de calor solar geram bons resultados, sendo oportuna a sua indicação para o controle dos raios solares.

### 4.5.2.2 Reflexão

– Ultravioleta - A reflexão no UV tem valores percentuais pequenos, no intervalo de 4,79 a 6,55%. A exceção da amostra PR-05 com índice de 34,68%.

– Visível - A reflexão no visível situa-se no intervalo de 13,71 a 63,88%. O interesse em admitir luz no interior da edificação, faz com seja procurado produtos com índices baixos de reflexão. O resultado deste estudo, com exceção das amostras prata PR-03, PR-04 e PR-05 com altos valores de reflexão no visível, apresenta um bom desempenho para estas películas.

– Infravermelho – Para que um produto transparente possa ser considerado ideal para regiões de alta densidade energética deve-se associar o alto índice de reflexão no infravermelho com uma baixa reflexão no visível, sendo as películas refletivas o único produto que atende à estas exigência, excetuando as películas prata, com altos valores, acima de 50% no visível.

### 4.5.2.3 Parâmetros de desempenho térmico das películas refletivas

A Tabela 4.9 traz os resultados de absorção, da razão visível/infravermelho para a transmissão, do Fator Solar, do Ganho de Calor Solar e do Coeficiente de Sombreamento para as amostras das películas refletivas.

Tabela 4.9 – Parâmetros de desempenho térmico das películas refletivas para radiação solar incidente de 692 W/m<sup>2</sup>.

Código da Amostra <sup>4</sup>	Transmissão Total (%)	Reflexão Total (%)	Absorção Total (%)	Razão Vis / IV	FS	G.C.S. (W/m <sup>2</sup> )				CS
						( $\Delta t = 0^\circ$ )	( $\Delta t = 5^\circ$ )	( $\Delta t = 10^\circ$ )	( $\Delta t = 15^\circ$ )	
PR-01	13,68	39,75	46,57	0,81	0,25	173,0	202,5	231,9	261,4	0,29
PR-02	11,16	41,80	47,04	0,63	0,22	152,2	181,7	211,1	240,6	0,25
PR-03	12,36	53,99	33,65	1,65	0,20	138,4	167,9	197,3	226,8	0,23
PR-04	12,08	52,58	35,34	1,57	0,20	138,4	167,9	197,3	226,8	0,23
PR-05	8,29	67,85	23,86	2,31	0,14	96,9	126,3	155,8	185,2	0,16
PR-06	13,44	37,41	49,15	0,58	0,25	173,0	202,5	231,9	261,4	0,29
PR-07	11,02	43,09	45,89	0,77	0,22	152,2	181,7	211,1	240,6	0,25
PR-08	8,00	47,12	44,88	1,05	0,19	131,5	160,9	190,4	219,8	0,22
PR-09	8,45	45,94	45,61	0,99	0,19	131,5	160,9	190,4	219,8	0,22
PR-10	13,47	40,44	46,09	0,94	0,24	166,1	195,5	225,0	254,4	0,28
PR-11	11,52	40,49	47,99	0,93	0,23	159,2	188,6	218,1	247,5	0,26

<sup>4</sup> PR-01 – Película Refletiva, fumê, Intercontrol; PR-02 – Película Refletiva, fumê, Sun Control; PR-03 – Película Refletiva, prata, Intercontrol; PR-04 – Película Refletiva, prata, Sun Control; PR-05 – Película Refletiva, prata, Solar Gard; PR-06 – Película Refletiva, bronze, Intercontrol; PR-07 – Película Refletiva, bronze, Solar Gard; PR-08 – Película Refletiva, azul escuro, Intercontrol; PR-09 – Película Refletiva, azul, Intercontrol; PR-10 – Película Refletiva, verde, Intercontrol; PR-11 – Película Refletiva, verde, Sun Control.

– Transmissão total - A transmissão total para as Películas Refletivas encontra-se entre 8,00 e 13,68%, valores baixos considerando a necessidade de incidência de luz no interior dos ambientes.

– Reflexão total – Os índices de reflexão obtidos são muito úteis para um baixo ganho de calor e os valores encontrados têm bons resultados. A película PR-05, prata da Solar Gard teve o melhor desempenho, 67,85%.

– Absorção total - Os índices de absorção variaram de 23,86 a 49,15%.

– Razão visível/infravermelho – Apenas quatro amostras obtiveram valores maiores que um. A película PR-05, prata da Solar Gard foi o único produto deste estudo que obteve desempenho maior que 2.

A análise comparativa do desempenho na transmissão e na reflexão das películas refletivas de uma mesma cor para diferentes fornecedores é mostrada nas Figuras 4.73 a 4.80. As Figuras 4.73 e 4.74 comparam o desempenho das películas refletivas de controle solar fumê dos fornecedores Intercontrol e Sun Control. As Figuras 4.75 e 4.76 comparam o desempenho das películas prata dos fornecedores Intercontrol, Sun Control e Solar Gard. As Figuras 4.77 e 4.78

comparam o desempenho das películas bronze dos fornecedores Intercontrol e Solar Gard e as Figuras 4.79 e 4.80 comparam o desempenho das películas verde dos fornecedores Intercontrol e Sun Control.

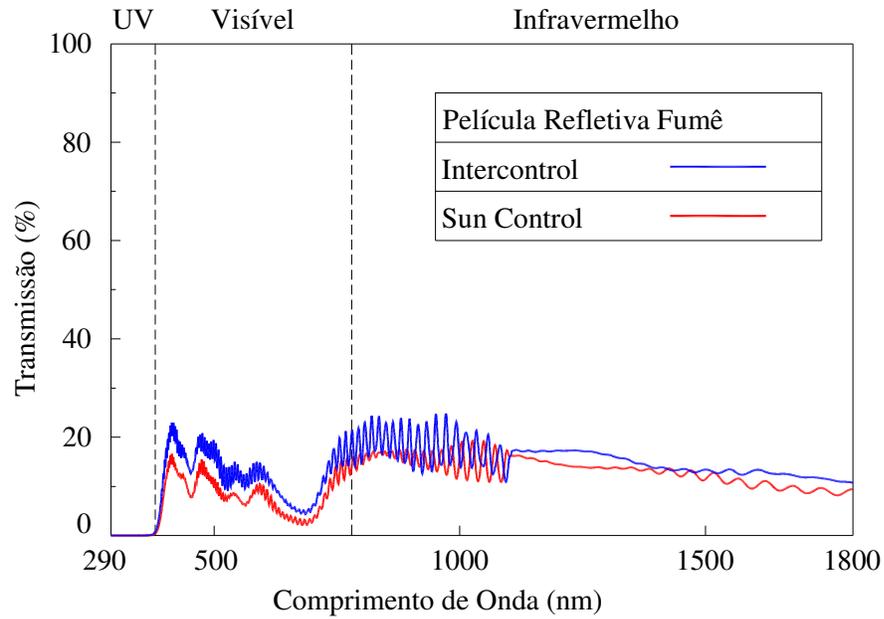


Figura 4.73 – Comparação de desempenho de transmissão das Películas Refletivas Fumê da Intercontrol e Sun Control.

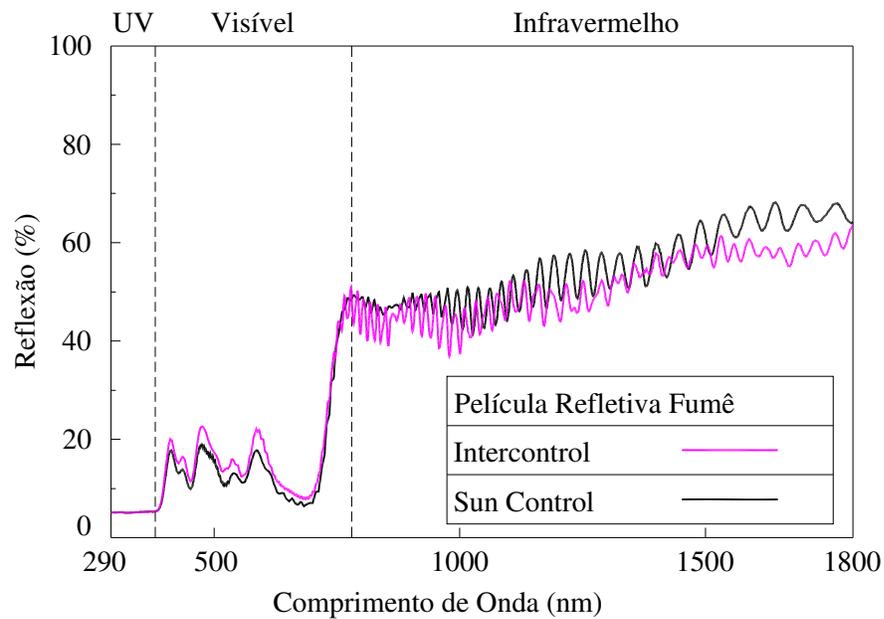


Figura 4.74 – Comparação de desempenho de reflexão das Películas Refletivas Fumê da Intercontrol e Sun Control.

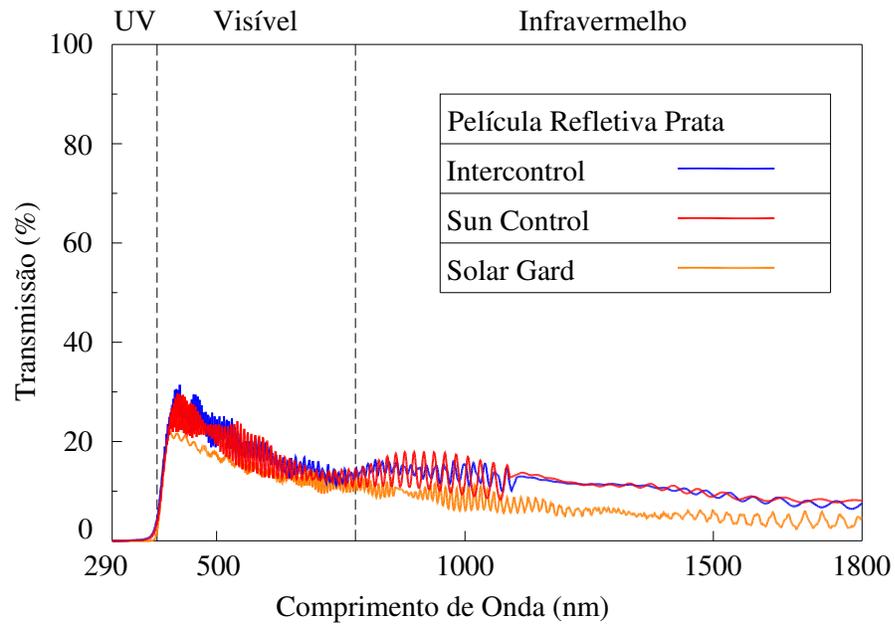


Figura 4.75 – Comparação de desempenho de transmissão de Películas Refletivas Prata da Intercontrol, Sun Control e Solar Gard.

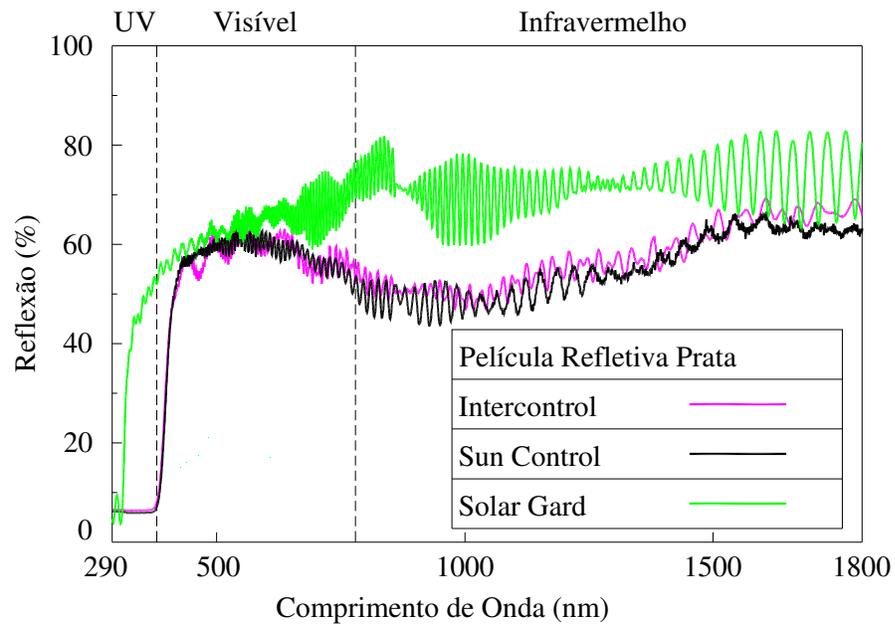


Figura 4.76 – Comparação de desempenho de reflexão de Películas Refletivas Prata da Intercontrol, Sun Control e Solar Gard.

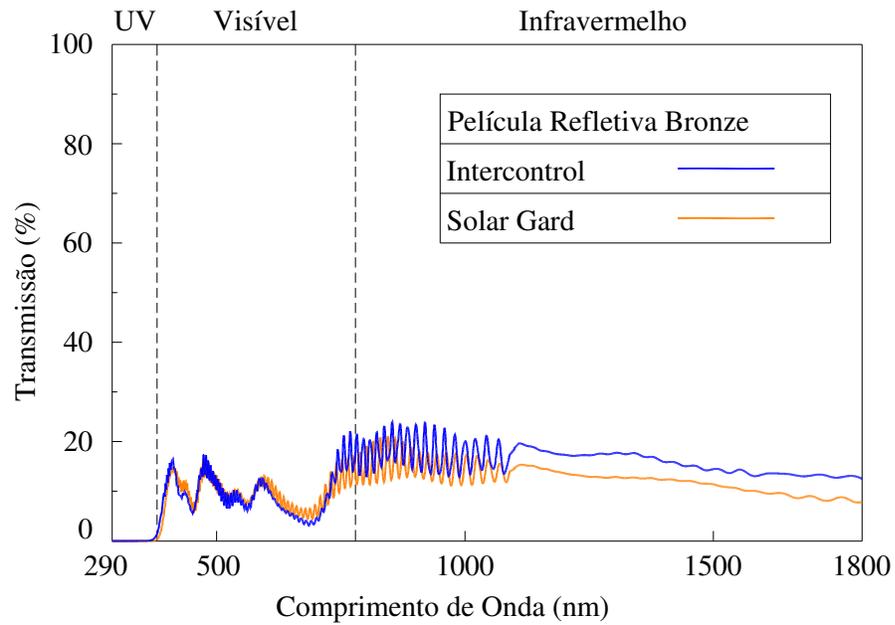


Figura 4.77 – Comparação de desempenho de transmissão de Películas Refletivas Bronze da Intercontrol e Solar Gard.

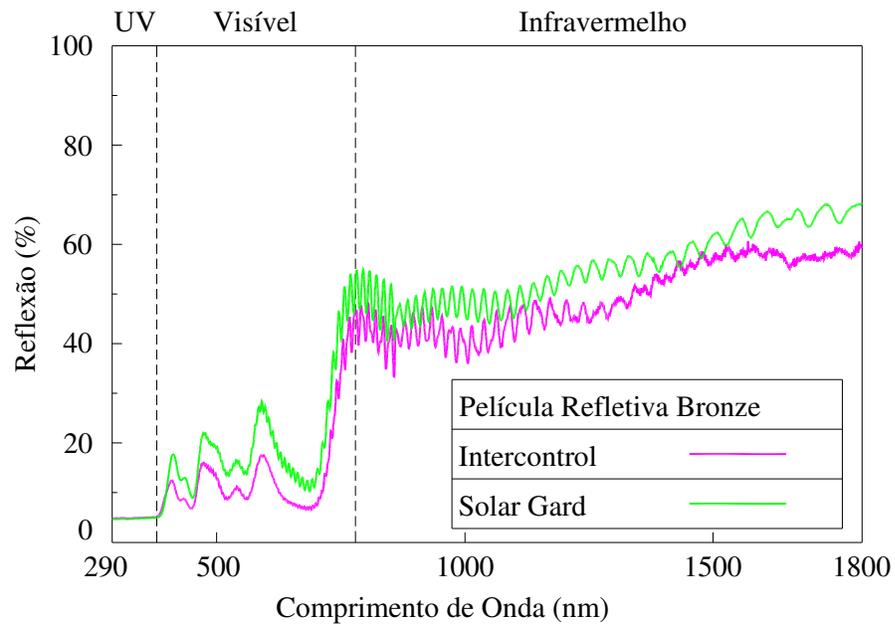


Figura 4.78 – Comparação de desempenho de reflexão de Películas Refletivas Bronze da Intercontrol e Solar Gard.

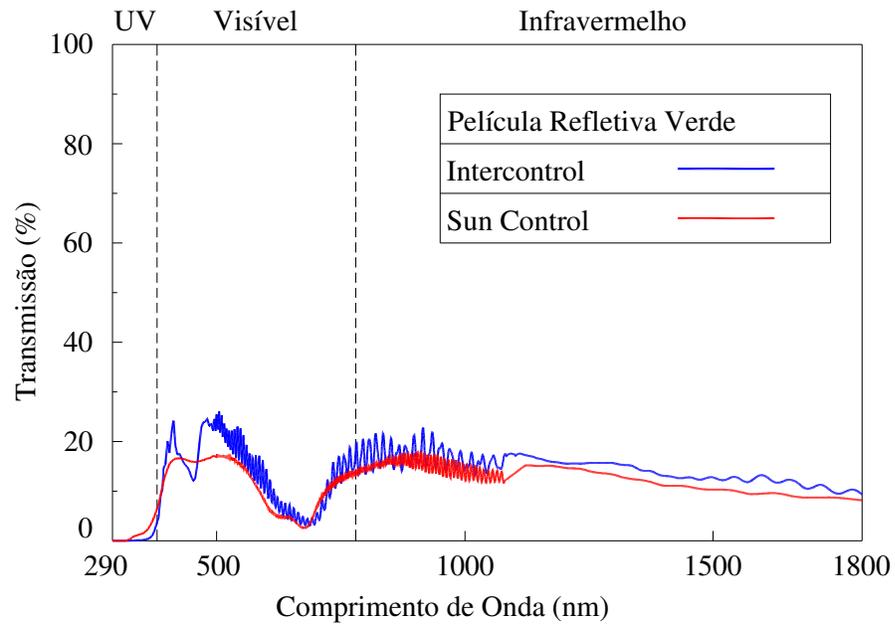


Figura 4.79 – Comparação de desempenho de transmissão de Películas Refletivas Verde da Intercontrol e Sun Control.

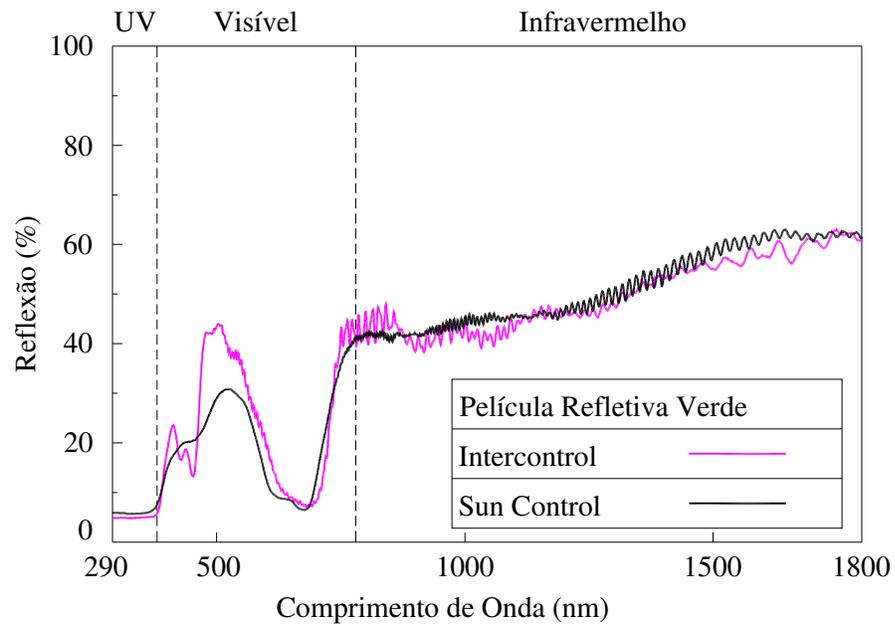


Figura 4.80 – Comparação de desempenho de reflexão de Películas Refletivas Verde da Intercontrol e Sun Control.

Comparando o comportamento das películas refletivas, observa-se o bom desempenho que estes produtos proporcionam. As amostras das películas refletivas Fumê das Figuras 4.73 e 4.74 tiveram a razão Vis/IV de 0,81 e 0,63, pode-se afirmar que há uma pequena vantagem no desempenho da película da Intercontrol para a análise no visível. Na reflexão a película da Sun Control tem um menor índice no visível e maior no infravermelho.

Nas Figuras 4.75 e 4.76 é nítido o desempenho da película da Solar Gard, que traz um baixo índice de transmissão e alta reflexão. Pode-se afirmar que as películas prata têm bons desempenhos para transmissão e para reflexão.

As Figuras 4.77 e 4.78 fazem análise das películas bronze, onde o resultado da marca da Solar Gard tem desempenho melhor que da Intercontrol. E as Figuras 4.79 e 4.80 têm em seu gráfico uma aparência que poderia ser interpretada como melhor desempenho para a película da Intercontrol, mas em termos numéricos estas são bem parecidas em suas características óticas.

#### 4.5.2.4 Desempenho térmico de película refletiva e película de controle solar

Na Figura 4.81 é apresentado uma comparação de desempenho das películas estudadas, as refletivas e as de controle solar, onde a mais indicada para atenuar a presença do infravermelho (onda de calor) no interior dos ambientes é a película refletiva.

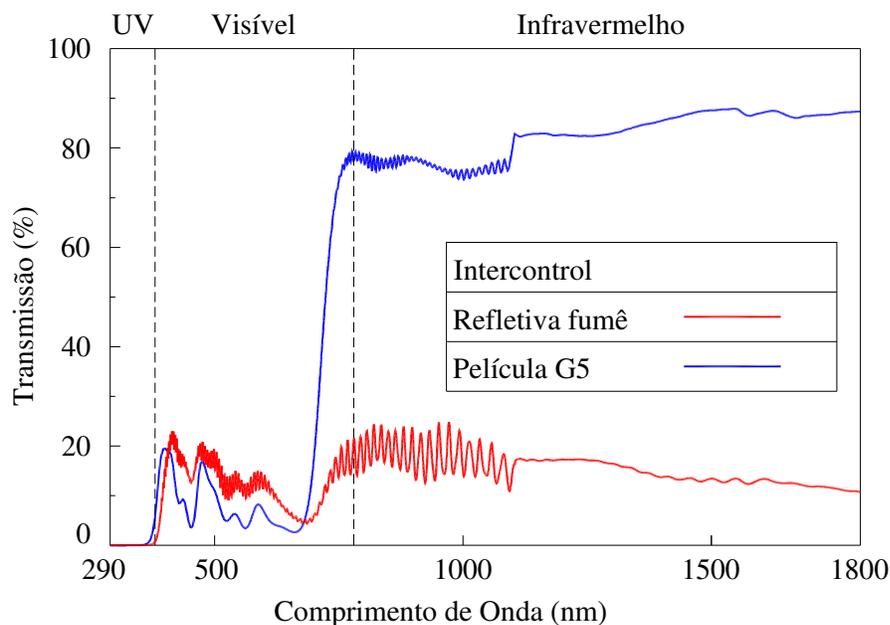


Figura 4.81 – Comparação de desempenho de transmissão da Película Refletiva Fumê e da Película de Controle Solar G5 da Intercontrol.

As películas refletivas e não refletivas apresentam comportamento bastante diferenciado na transmissão do IV. A transmissão no visível da película G5 é de 18,4%, e da refletiva é de 12,4%. No IV a transmissão da G5 é de 82,5% e a transmissão da refletiva é de 15,38%.

#### 4.6 CUSTO MÉDIO DOS MATERIAIS ESTUDADOS

Os custos apresentados (Tabela 4.10) foram levantados por meio de consultas aos revendedores dos materiais analisados, refere-se ao valor médio praticado na cidade de Goiânia-GO no mês de janeiro de 2007. No caso dos vidros foi cotado o valor em m<sup>2</sup> de chapas nas três empresas que forneceram o material desta pesquisa.

Tabela 4.10 – Custo médio dos materiais estudados.

<b>Material</b>	<b>Custo: Reais/m<sup>2</sup></b>
Vidro incolor (3 a 5mm)	25,00 a 50,00
Vidro laminado (6 a 8mm)	140,00 a 260,00
Vidro refletivo monolítico (3 e 4mm)	70,00 a 90,00
Película de controle solar	35,00
Película refletiva	45,00 a 60,00

Nota: valores cotados no mês de janeiro de 2007, com dólar cotado a R\$ 2,13.

Os comerciantes não recomendam o emprego do vidro refletivo monolítico, pois a face que recebe o tratamento danifica-se com o uso, quer seja aplicada na face interna ou externa. É recomendado que este vidro passe preliminarmente pelo processo de laminação para a devida proteção da face refletiva.

#### 4.7 ESPECIFICAÇÃO DE VIDROS X CONFORTO AMBIENTAL

Procurando facilitar a especificação de um envidraçado em uma edificação, compilou-se nas Tabelas 4.11 a 4.17 os resultados obtidos nesta pesquisa. São comparadas todas as amostras estudadas para a Transmissão no Visível, a Transmissão no Infravermelho, a Razão Visível/Infravermelho, a Transmissão Total, a Reflexão Total, a Absorção Total e o Ganho de Calor Solar. Nas Figuras 4.82 a 4.87 são apresentados os respectivos gráficos.

Tabela 4.11 – Comparação de desempenho da Transmissão no Visível para o total de amostras ensaiadas.

<b>Material Estudado</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Transmissão Visível (%)</b>
Vidro Incolor 3 mm	VI-3mm	89,45
Vidro Incolor 4 mm	VI-4mm	88,38
Vidro Incolor 5 mm	VI-5mm	88,28
Vidro Refletivo Monolítico140 Cobre	RF-05	38,81
Película G50 Azul - Intercontrol	PC-06	37,00
Vidro Refletivo Monolítico130 Bronze	RF-04	34,77
Vidro Laminado Antélio Verde	LM-11	33,49
Vidro Refletivo Monolítico130 Bronze	RF-03	33,38
Película G20 Azul - Intercontrol	PC-03	32,53
Vidro Laminado BS 130 Azul	LM-09	31,75
Vidro Refletivo Monolítico130 Cobre	RF-02	30,33
Vidro Laminado 130 VI Verde	LM-08	26,39
Vidro Laminado Reflecta Float Verde	LM-10	23,82
Vidro Laminado BS 120 Azul	LM-06	22,64
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-04	20,86
Película G20 Fumê - Solar Gard	PC-05	20,08
Película G5 Fumê - Sun Tek	PC-02	19,00
Película G5 Azul - Intercontrol	PC-01	18,43
Película Refletiva Prata - Intercontrol	PR-03	18,31
Película Refletiva Prata - Sun Control	PR-04	17,34
Vidro Laminado 120 VI Verde	LM-07	15,65
Vidro Refletivo Monolítico120 Azul	RF-01	15,37
Película Refletiva Prata - Solar Gard	PR-05	14,80
Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro	LM-05	14,77
Vidro Laminado 114 PR Prata	LM-04	13,82
Película. Refletiva Verde - Intercontrol	PR-10	13,71
Película Refletiva Fumê - Intercontrol	PR-01	12,40
Vidro Laminado 114 VI Verde	LM-02	11,74
Vidro Laminado 114 AI Verde	LM-03	11,59
Película. Refletiva Verde - Sun Control	PR-11	11,52
Película Refletiva Bronze - Solar Gard	PR-07	9,65
Película Refletiva Bronze - Intercontrol	PR-06	9,44
Película Refletiva Azul - Intercontrol	PR-09	8,92
Película Refletiva Azul escuro - Intercontrol	PR-08	8,78
Película Refletiva Fumê - Sun Control	PR-02	8,33
Vidro Laminado BS 108 Ouro	LM-01	8,22

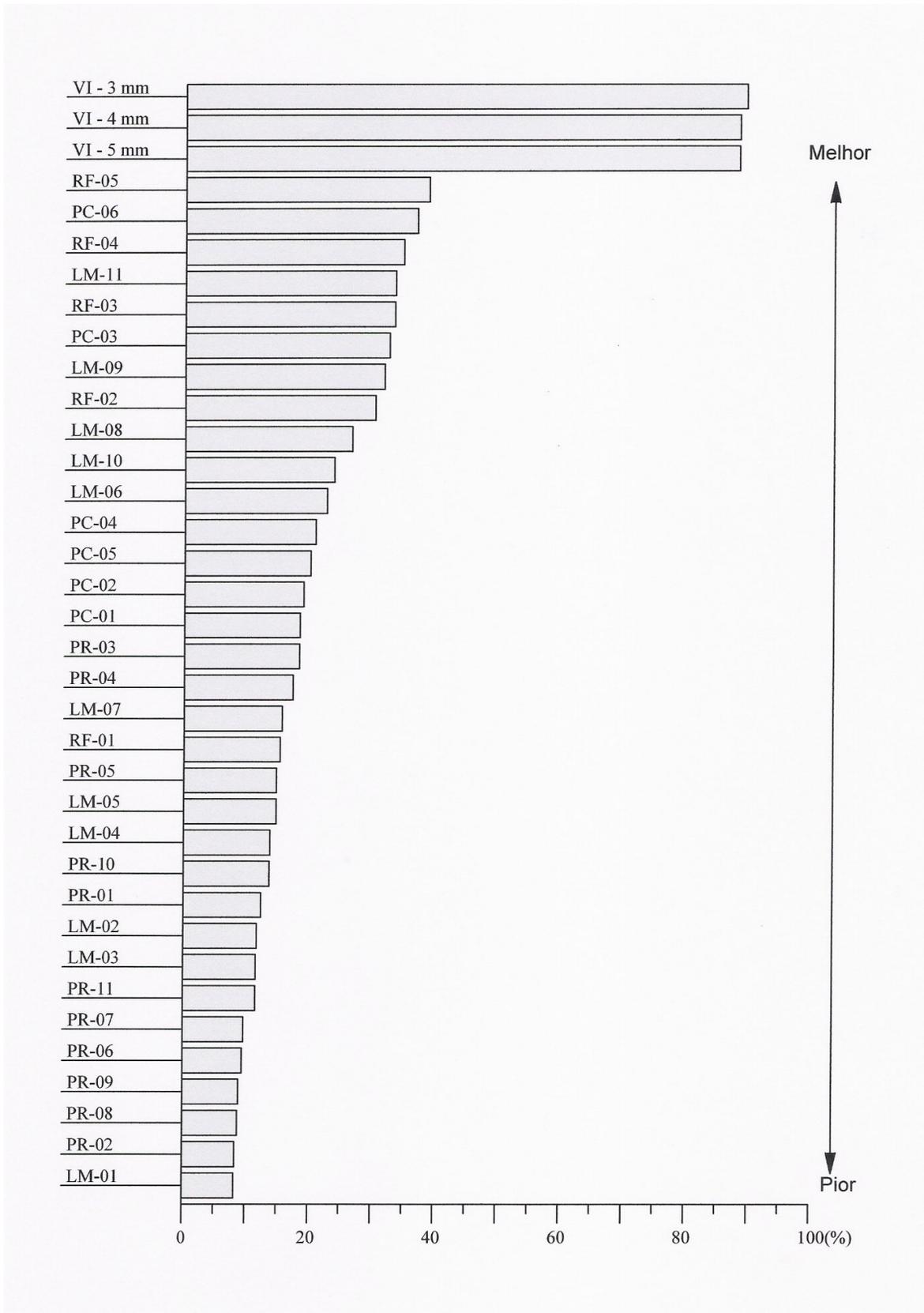


Figura 4.82 – Transmissão no Visível para o total de amostras ensaiadas.

Tabela 4.12 – Comparação de desempenho da Transmissão no Infravermelho para o total de amostras ensaiadas.

<b>Material Estudado</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Transmissão Infravermelho (%)</b>
Vidro Laminado BS 108 Ouro	LM-01	6,30
Película Refletiva Prata - Solar Gard	PR-05	6,40
Vidro Laminado 114 AI Verde	LM-03	7,04
Vidro Laminado 114 VI Verde	LM-02	7,40
Vidro Laminado 120 VI Verde	LM-07	8,17
Película Refletiva Azul Escuro - Intercontrol	PR-08	8,39
Película Refletiva Azul – Intercontrol	PR-09	9,00
Vidro Laminado 114 PR Prata	LM-04	9,23
Película Refletiva Prata - Sun Control	PR-04	11,05
Película Refletiva Prata - Intercontrol	PR-03	11,07
Película Refletiva Verde - Sun Control	PR-11	12,41
Película Refletiva Bronze - Solar Gard	PR-07	12,53
Película Refletiva Fumê - Sun Control	PR-02	13,26
Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro	LM-05	13,61
Película Refletiva Verde - Intercontrol	PR-10	14,53
Película Refletiva Fumê - Intercontrol	PR-01	15,38
Película Refletiva Bronze - Intercontrol	PR-06	16,18
Vidro Laminado Reflecta Float Verde	LM-10	17,24
Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul	RF-01	17,53
Vidro Laminado BS 130 Azul	LM-09	19,52
Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre	RF-02	22,18
Vidro Laminado BS 120 Azul	LM-06	28,98
Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre	RF-05	30,14
Vidro Laminado 130 VI Verde	LM-08	35,94
Vidro Laminado Antélio Verde	LM-11	45,28
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-04	66,66
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-03	69,84
Película G20 Azul - Intercontrol	PC-03	80,83
Película G20 Fumê - Solar Gard	PC-05	82,50
Película G5 Azul - Intercontrol	PC-01	82,54
Vidro Incolor 5 mm	VI-5mm	82,63
Película G5 Fumê - Sun Tek	PC-02	82,85
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-04	83,44
Película G50 Azul - Intercontrol	PC-06	83,49
Vidro Incolor 4 mm	VI-4mm	85,36
Vidro Incolor 3 mm	VI-3mm	86,76

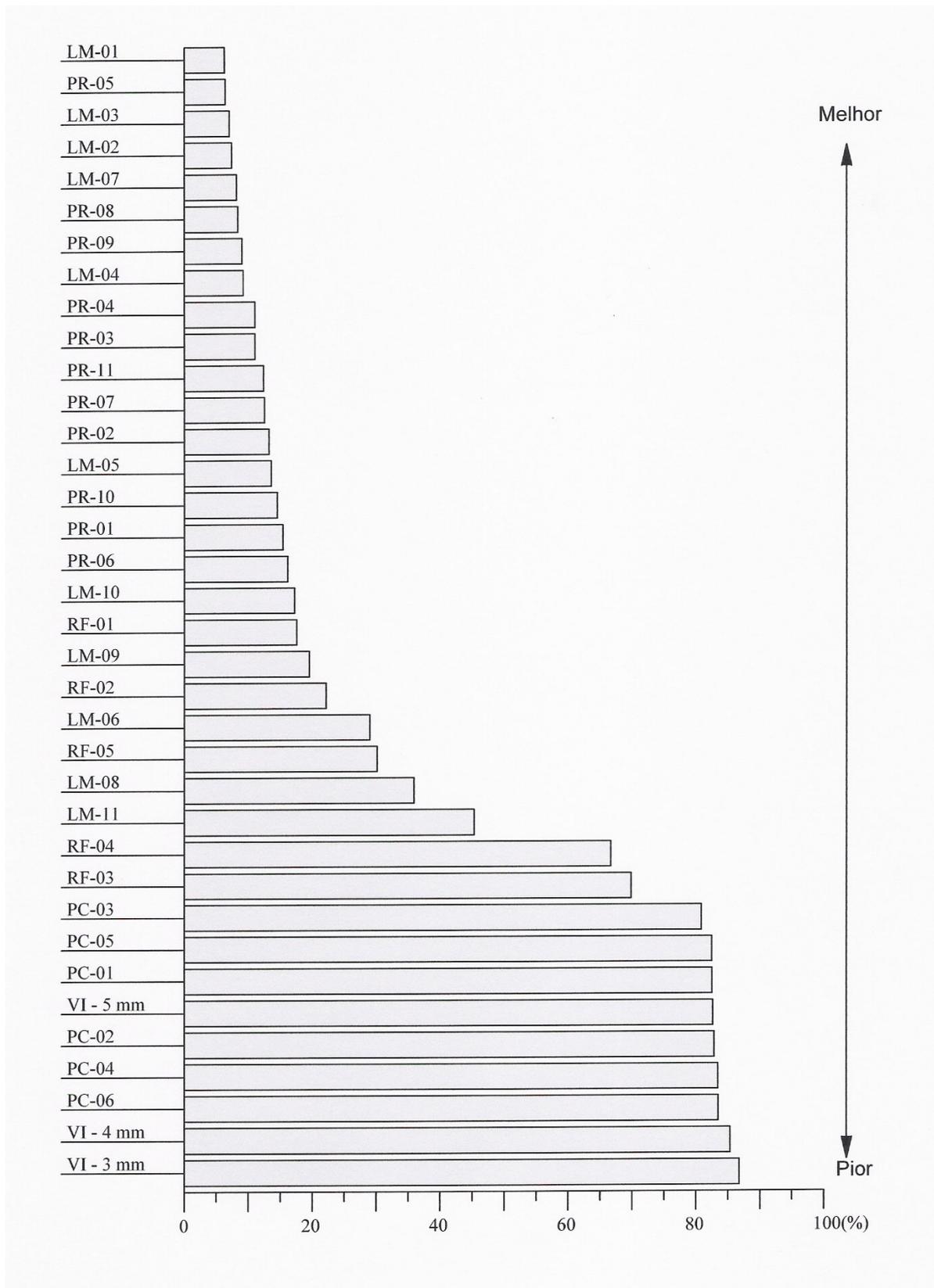


Figura 4.83 – Transmissão no Infravermelho para o total de amostras ensaiadas.

Tabela 4.13 – Comparação de desempenho da Razão Visível/Infravermelho para o total de amostras ensaiadas.

<b>Material Estudado</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Razão Vis/ IV</b>
Película Refletiva Prata - Solar Gard	PR-05	2,31
Vidro Laminado 120 VI Verde	LM-07	1,92
Vidro Laminado 114 AI Verde	LM-03	1,65
Película Refletiva Prata - Intercontrol	PR-03	1,65
Vidro Laminado BS 130 Azul	LM-09	1,63
Vidro Laminado 114 VI Verde	LM-02	1,59
Película Refletiva Prata - Sun Control	PR-04	1,57
Vidro Laminado 114 PR Prata	LM-04	1,50
Vidro Laminado Reflecta Float Verde	LM-10	1,38
Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre	RF-02	1,37
Vidro Laminado BS 108 Ouro	LM-01	1,31
Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre	RF-05	1,29
Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro	LM-05	1,08
Vidro Incolor 5 mm	VI-5mm	1,07
Película Refletiva Azul escuro - Intercontrol	PR-08	1,05
Vidro Incolor 4 mm	VI-4mm	1,04
Vidro Incolor 3 mm	VI-3mm	1,03
Película Refletiva Azul - Intercontrol	PR-09	0,99
Película Refletiva Verde - Intercontrol	PR-10	0,94
Película Refletiva Verde - Sun Control	PR-11	0,93
Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul	RF-01	0,88
Película Refletiva Fumê - Intercontrol	PR-01	0,81
Vidro Laminado BS 120 Azul	LM-06	0,78
Película Refletiva Bronze - Solar Gard	PR-07	0,77
Vidro Laminado Antélio Verde	LM-11	0,74
Vidro Laminado 130 VI Verde	LM-08	0,73
Película Refletiva Fumê - Sun Control	PR-02	0,63
Película Refletiva Bronze - Intercontrol	PR-06	0,58
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-04	0,52
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-03	0,48
Película G50 Azul - Intercontrol	PC-06	0,44
Película G20 Azul - Intercontrol	PC-03	0,40
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-04	0,25
Película G20 Fumê - Solar Gard	PC-05	0,24
Película G5 Fumê - Sun Tek	PC-02	0,23
Película G5 Azul - Intercontrol	PC-01	0,22

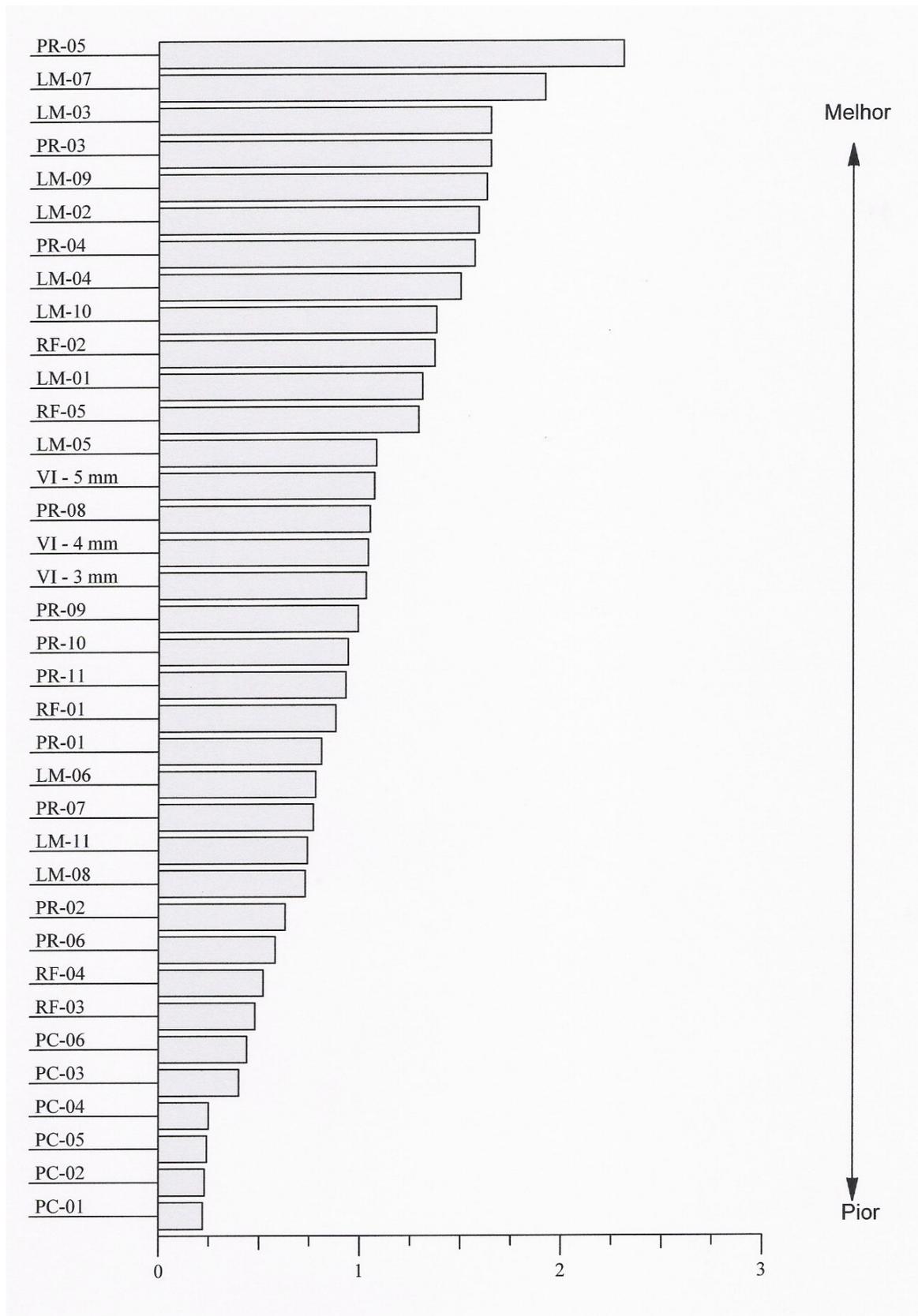


Figura 4.84 – Razão Visível/Infravermelho para o total de amostras ensaiadas.

Tabela 4.14 – Comparação de desempenho da Transmissão Total para as amostras ensaiadas.

<b>Material Estudado</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Transmissão Total(%)</b>
Vidro Laminado BS 108 Ouro	LM - 01	6,43
Vidro Laminado 114 AI Verde	LM - 03	7,83
Película Refletiva Azul Escuro - Intercontrol	PR-08	8,00
Vidro Laminado 114 VI Verde	LM - 02	8,11
Película Refletiva Prata - Solar Gard	PR-05	8,29
Película Refletiva Azul – Intercontrol	PR-09	8,45
Vidro Laminado 120 VI Verde	LM - 07	9,67
Vidro Laminado 114 PR Prata	LM - 04	9,90
Película Refletiva Bronze - Solar Gard	PR-07	11,02
Película Refletiva Fumê - Sun Control	PR-02	11,16
Película Refletiva Verde - Sun Control	PR-11	11,52
Película Refletiva Prata - Sun Control	PR-04	12,08
Película Refletiva Prata - Intercontrol	PR-03	12,36
Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro	LM - 05	13,11
Película Refletiva Bronze - Intercontrol	PR-06	13,44
Película Refletiva Verde - Intercontrol	PR-10	13,47
Película Refletiva Fumê - Intercontrol	PR-01	13,68
Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul	RF-01	16,28
Vidro Laminado Reflecta Float Verde	LM - 10	17,96
Vidro Laminado BS 130 Azul	LM - 09	21,60
Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre	RF-02	23,51
Vidro Laminado BS 120 Azul	LM - 06	25,58
Vidro Laminado 130 VI Verde	LM - 08	31,27
Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre	RF-05	31,33
Vidro Laminado Antélio Verde	LM - 11	39,46
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-04	54,53
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-03	56,28
Película G5 Azul - Intercontrol	PC-01	60,66
Película G 5 Fumê - Sun Tek	PC-02	61,04
Película G20 Fumê - Solar Gard	PC-05	61,06
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-04	61,90
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-03	63,25
Película G50 Azul - Intercontrol	PC-06	66,34
Vidro Incolor 5 mm	VI-5mm	81,89
Vidro Incolor 4 mm	VI-4mm	83,86
Vidro Incolor 3 mm	VI-3mm	85,31

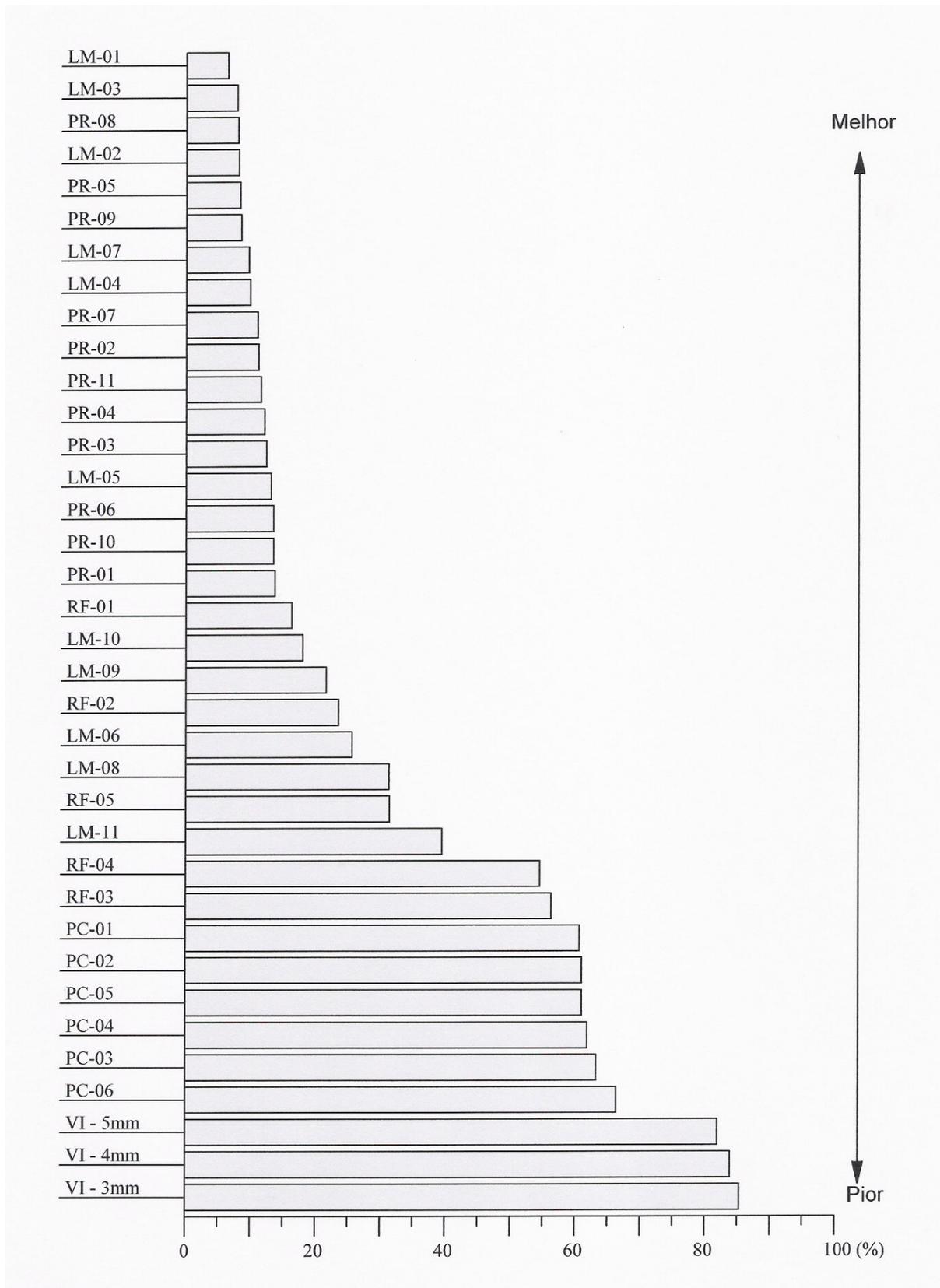


Figura 4.85 – Transmissão Total para as amostras ensaiadas.

Tabela 4.15 – Comparação de desempenho da Reflexão Total para as amostras ensaiadas.

<b>Material Estudado</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Reflexão Total (%)</b>
Película Refletiva Prata - Solar Gard	PR-05	67,85
Película Refletiva Prata - Intercontrol	PR-03	53,99
Película Refletiva Prata - Sun Control	PR-04	52,58
Película Refletiva Azul Escuro - Intercontrol	PR-08	47,12
Película Refletiva Azul – Intercontrol	PR-09	45,94
Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul	RF-01	44,13
Vidro Laminado BS 108 Ouro	LM-01	43,20
Película Refletiva Bronze - Solar Gard	PR-07	43,09
Película Refletiva Fumê - Sun Control	PR-02	41,80
Película Refletiva Verde - Sun Control	PR-11	40,49
Película Refletiva Verde - Intercontrol	PR-10	40,44
Película Refletiva Fumê - Intercontrol	PR-01	39,75
Película Refletiva Bronze - Intercontrol	PR-06	37,41
Vidro Laminado 114 PR Prata	LM-04	34,86
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-03	28,18
Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro	LM-05	27,23
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-04	25,99
Vidro Laminado BS 130 Azul	LM-09	21,52
Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre	RF-05	19,23
Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre	RF-02	17,72
Vidro Laminado 114 AI Verde	LM-03	16,04
Vidro Laminado 114 VI Verde	LM-02	15,07
Vidro Laminado 130 VI Verde	LM-08	14,83
Vidro Laminado BS 120 Azul	LM-06	14,44
Vidro Laminado 120 VI Verde	LM-07	11,90
Vidro Laminado Reflecta Float Verde	LM-10	10,50
Vidro Laminado Antélio Verde	LM-11	9,60
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-04	7,90
Película G5 Azul - Intercontrol	PC-01	7,86
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-03	7,86
Película G 5 Fumê - Sun Tek	PC-02	7,70
Película G50 Azul - Intercontrol	PC-06	7,68
Película G20 Fumê - Solar Gard	PC-05	6,88

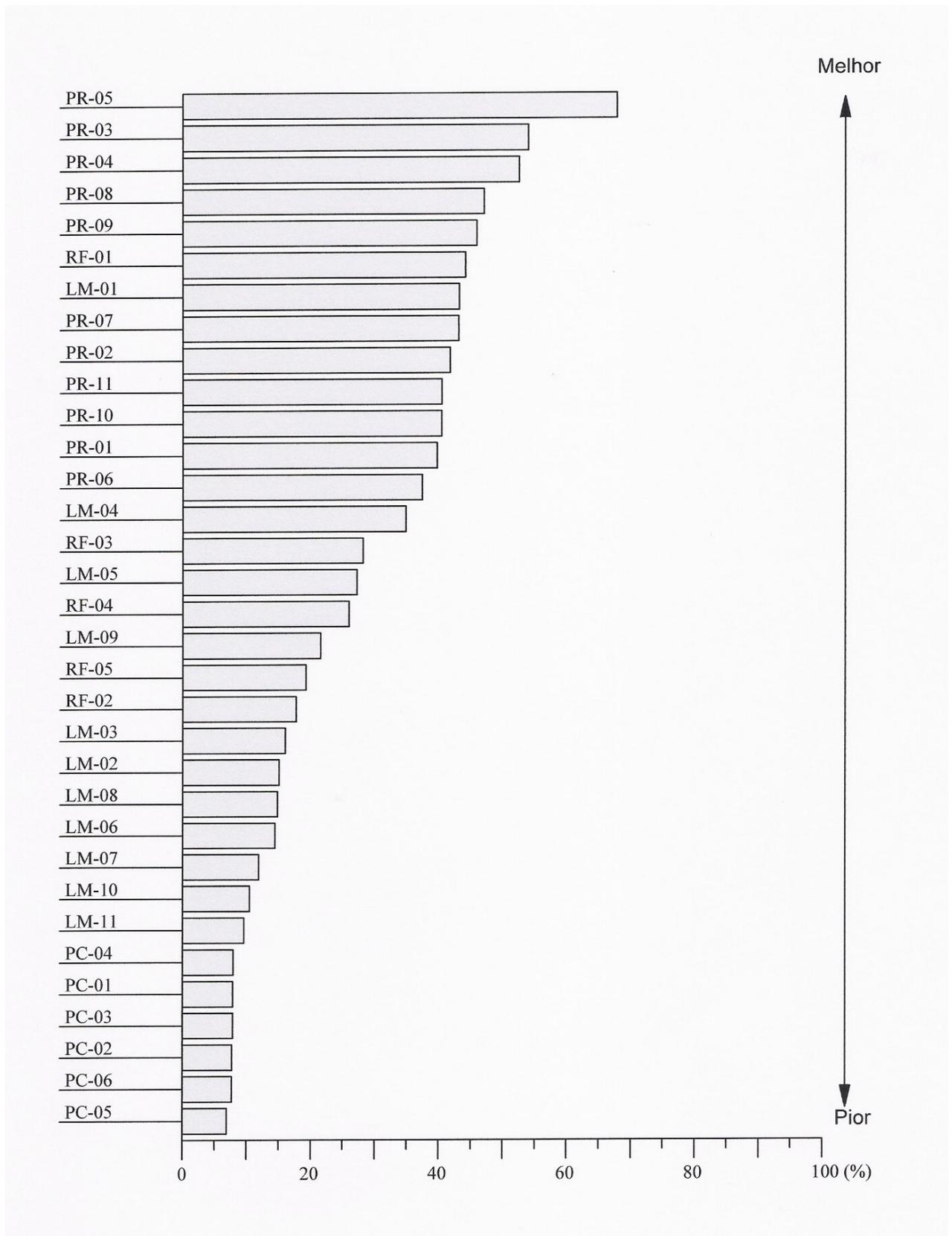


Figura 4.86 – Reflexão Total para as amostras ensaiadas.

Tabela 4.16 – Comparação de desempenho da Absorção Total para as amostras ensaiadas.

<b>Material Estudado</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Absorção Total (%)</b>
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze 3 mm	RF-03	15,54
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze 4 mm	RF-04	19,48
Película Refletiva Prata - Solar Gard	PR-05	23,86
Película G50 Azul - Intercontrol	PC-06	25,98
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-03	28,89
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-04	30,20
Película G 5 Fumê - Sun Tek	PC-02	31,26
Película G5 Azul - Intercontrol	PC-01	31,48
Película G20 Fumê - Solar Gard	PC-05	32,06
Película Refletiva Prata - Intercontrol	PR-03	33,65
Película Refletiva Prata - Sun Control	PR-04	35,34
Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul	RF-01	39,59
Película Refletiva Azul Escuro - Intercontrol	PR-08	44,88
Película Refletiva Azul – Intercontrol	PR-09	45,61
Película Refletiva Bronze - Solar Gard	PR-07	45,89
Película Refletiva Verde - Intercontrol	PR-10	46,09
Película Refletiva Fumê - Intercontrol	PR-01	46,57
Película Refletiva Fumê - Sun Control	PR-02	47,04
Película Refletiva Verde - Sun Control	PR-11	47,99
Película Refletiva Bronze - Intercontrol	PR-06	49,15
Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre	RF-05	49,44
Vidro Laminado BS 108 Ouro	LM - 01	50,37
Vidro Laminado Antélio Verde	LM - 11	50,94
Vidro Laminado 130 VI Verde	LM - 08	53,90
Vidro Laminado 114 PR Prata	LM - 04	55,24
Vidro Laminado BS 130 Azul	LM - 09	56,88
Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre	RF-02	58,77
Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro	LM - 05	59,66
Vidro Laminado BS 120 Azul	LM - 06	59,98
Vidro Laminado Reflecta Float Verde	LM - 10	71,54
Vidro Laminado 114 AI Verde	LM - 03	76,13
Vidro Laminado 114 VI Verde	LM - 02	76,82
Vidro Laminado 120 VI Verde	LM - 07	78,43

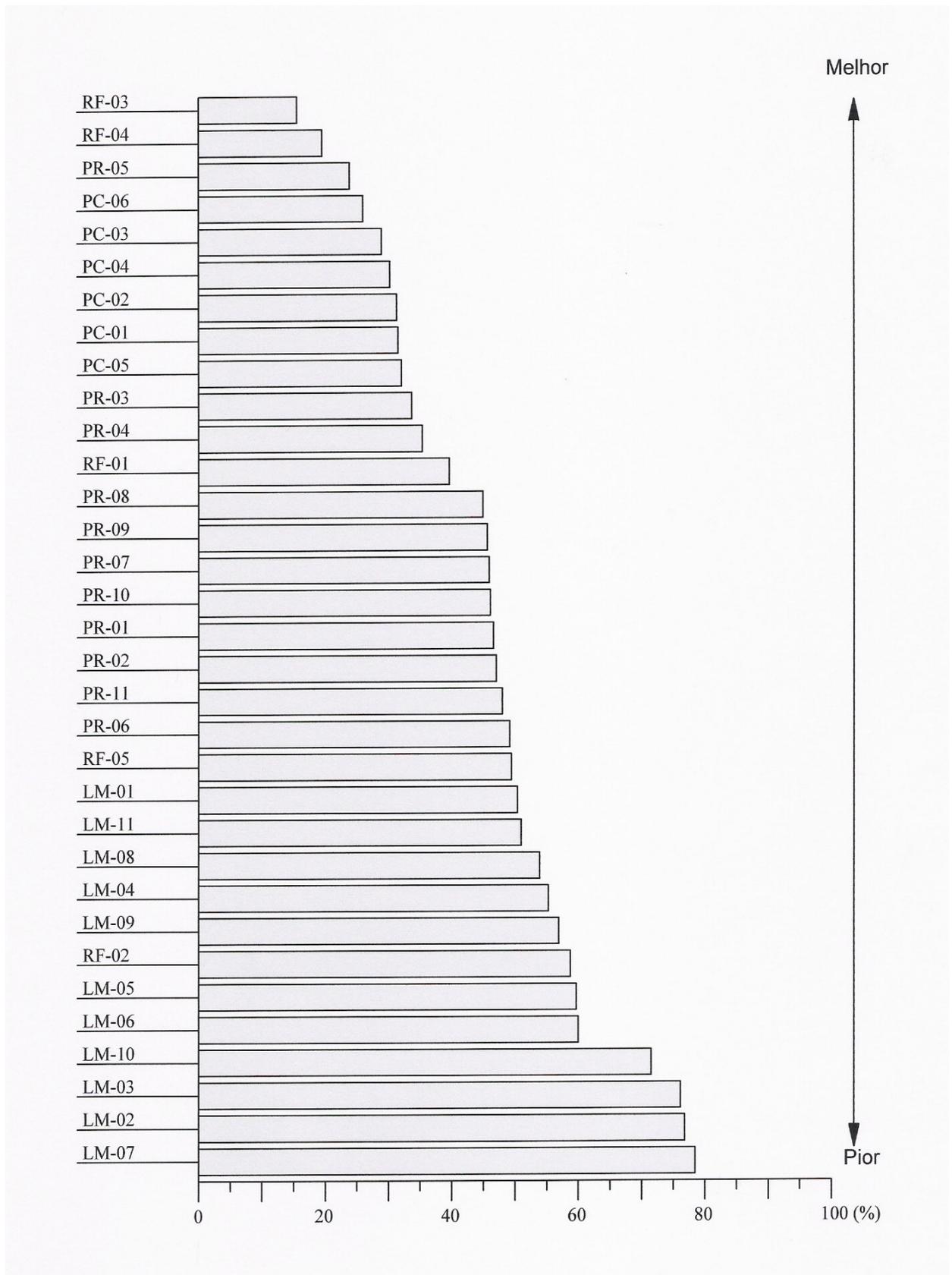


Figura 4.87 – Absorção Total para as amostras ensaiadas.

Tabela 4.17 – Comparação de desempenho do Ganho de Calor Solar para o total de amostras ensaiadas.

<b>Material Estudado</b>	<b>Código da Amostra</b>	<b>Ganho de Calor Solar (W/m<sup>2</sup>)</b>
Película Refletiva Prata - Solar Gard	PR-05	155,8
Vidro Laminado BS 108 Ouro	LM - 01	183,5
Película Refletiva Azul Escuro - Intercontrol	PR-08	190,4
Película Refletiva Azul – Intercontrol	PR-09	190,4
Película Refletiva Prata - Intercontrol	PR-03	197,3
Película Refletiva Prata - Sun Control	PR-04	197,3
Película Refletiva Fumê - Sun Control	PR-02	211,1
Película Refletiva Bronze - Solar Gard	PR-07	211,1
Vidro Laminado 114 PR Prata	LM - 04	218,1
Película Refletiva Verde - Sun Control	PR-11	218,1
Película Refletiva Verde - Intercontrol	PR-10	225,0
Película Refletiva Bronze - Intercontrol	PR-06	231,9
Película Refletiva Fumê - Intercontrol	PR-01	231,9
Vidro Refletivo Monolítico 120 Azul	RF-01	238,8
Vidro Laminado 114 VI Verde	LM - 02	238,8
Vidro Laminado 114 AI Verde	LM - 03	238,8
Vidro Laminado 114 PN Prata Neutro	LM - 05	245,7
Vidro Laminado 120 VI Verde	LM - 07	252,7
Vidro Laminado BS 130 Azul	LM - 09	301,1
Vidro Laminado Reflecta Float Verde	LM - 10	301,1
Vidro Refletivo Monolítico 130 Cobre	RF-02	314,9
Vidro Laminado BS 120 Azul	LM - 06	335,7
Vidro Refletivo Monolítico 140 Cobre	RF-05	356,5
Vidro Laminado 130 VI Verde	LM - 08	363,4
Vidro Laminado Antélio Verde	LM - 11	411,8
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-04	467,2
Vidro Refletivo Monolítico 130 Bronze	RF-03	474,1
Película G5 Azul - Intercontrol	PC-01	529,5
Película G 5 Fumê - Sun Tek	PC-02	529,5
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-04	536,4
Película G20 Fumê - Solar Gard	PC-05	536,4
Película G 20 Fumê - Sun Tek	PC-03	543,3
Película G50 Azul - Intercontrol	PC-06	557,1

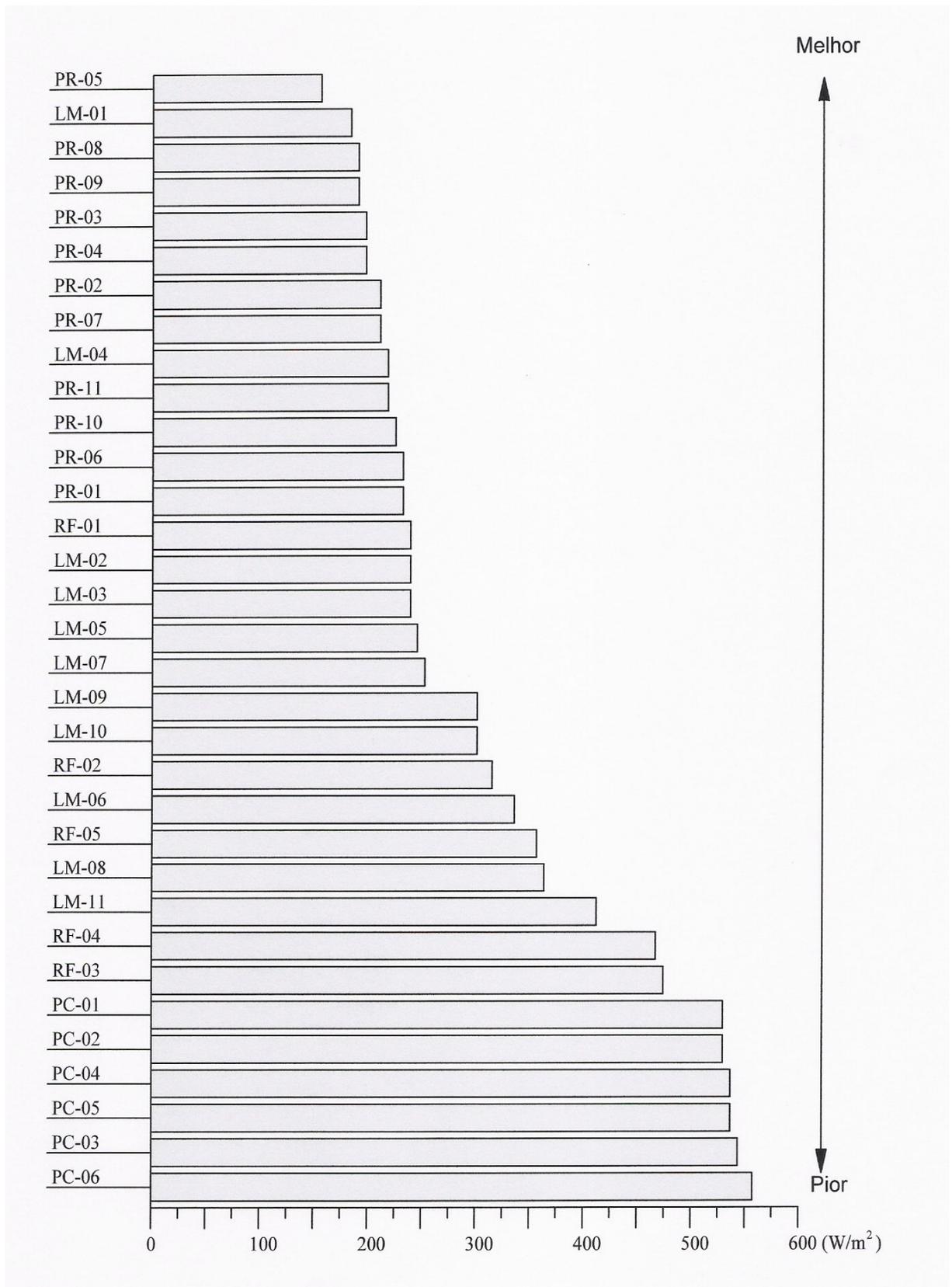


Figura 4.88 – Ganho de Calor Solar para o total de amostras ensaiadas.

Caram (1998) considera como resultado desejável para a transmissão no espectro visível valores maiores que 50%, porém apenas os vidros incolores têm transmissão luminosa acima deste valor. Estabeleceu-se então nesta pesquisa como valor apropriado para transmissão, valores acima de 30% de transmissão no espectro visível, valores estes considerados por Caram (1998) como transmissão luminosa média. E onze amostras atenderam a esta nova classificação, representando 30,5% do total das trinta e seis amostras analisadas, incluindo os vidros transparentes.

A baixa transmissão de infravermelho (calor) não garante um desempenho ideal do ponto de vista do conforto térmico, pois, se o produto possuir elevados índices de absorção, esta energia ao ser reirradiada para o interior causa desconforto. Assim, devem ser preferidos os produtos que transmitem menos de 30% de IV. Na Tabela 4.12 foram encontradas vinte e duas amostras com valores percentuais abaixo de 30% ou seja, 61,11% dos produtos com transmissão do IV considerada satisfatória.

A razão visível/infravermelho para um bom desempenho ambiental deve possuir valor maior que um. Pela Tabela 4.13 observa-se que dezessete amostras obtiveram a razão Vis/IV maior que um, representando 47,22% das amostras.

A transmissão total deve ser analisada em conjunto com a reflexão, pois baixos índices de transmissão associados aos baixos índices de reflexão geram produtos com altos índices de absorção, que agregam grande Ganho de Calor Solar à edificação (Tabela 4.14).

Altos índices de reflexão proporcionam menores índices de Ganho de Calor Solar. Pela Tabela 4.15 têm-se onze amostras com índices acima de 40% de reflexão, que representa 30,5% do total das amostras estudadas. Com o intuito de se alcançar níveis de conforto satisfatórios deve-se associar o alto índice de reflexão no infravermelho com uma baixa reflexão no visível.

Baixos índices de absorção não podem ser considerados como satisfatórios isoladamente, exemplo são as películas de controle solar, que tem baixos índices de absorção e altos de transmissão, e possuem dentre as amostras estudadas os maiores índices de ganho de calor solar (Tabela 4.16).

O Parâmetro Fator Solar (FS) das Tabelas 4.3, 4.5, 4.7 e 4.9 foi usado para a determinação do Ganho de Calor Solar, que por sua vez é o parâmetro melhor define o comportamento dos produtos transparentes. Por meio do Ganho de Calor Solar é possível quantificar a carga térmica que uma superfície transparente agrega por metro quadrado de esquadria de uma edificação.

A partir das condições fixadas nesta pesquisa relativas à orientação das fachadas (leste e oeste), aos horários de análise (8:00h e 16:00h), às épocas do ano (equinócios) e à radiação solar incidente ( $I_g$ , 692 W/m<sup>2</sup>), para o município de Goiânia-Go, os produtos estudados que alcançaram os menores valores de Ganho de Calor Solar foram as películas refletivas seguidas pelos vidros laminados (Tabela 4.17).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Existe no mercado uma grande variedade de elementos transparentes (vidros) e películas, além da possibilidade do projetista compor, junto com os fabricantes, produtos que se adaptem às condições de seu projeto. Isto resulta em uma ampla diversidade de vidros com características óticas distintas. A técnica espectrofotométrica é uma ferramenta eficiente na caracterização dos elementos transparentes, que permite a identificação detalhada dos índices de transmissão, reflexão e absorção. Estas informações associadas com orientação de fachadas, tamanho de aberturas e sombreamento proporcionam melhorias significativas nas condições ambientais de uma edificação, gerando economia de energia utilizada no condicionamento do ambiente.

Os vidros laminados atenderam a proposta quanto ao desempenho do Índice de Controle de Luz Solar fornecido pelos fabricantes de transmissão de luz visível. A baixa transmissão de infravermelho (calor) não garante um desempenho ideal do ponto de vista do conforto térmico, eles possuem elevados índices de absorção, esta energia ao ser reemitida para o interior causa desconforto em locais de clima quente. Para se obter um melhor desempenho térmico, é necessário evitar produtos com altos índices de absorção e transmissão. A película de butiral usada no processo de laminação impede a passagem do UV. O seu emprego é indicado, mas o ideal é procurar associar sua utilização com outras técnicas de proteção de fachadas.

Apesar da aplicação dos vidros refletivos monolíticos não ser recomendada, devido ao fato de que a face do vidro tratada com óxidos danifica-se com o uso, ele ainda é encontrado, e oferece bons índices de desempenho.

As películas não refletivas não bloqueiam o ganho de calor e são indicadas para o controle da passagem de luz visível e bloqueio do UV. Não devem ser utilizadas para o controle do ganho de calor solar, pois estas são inadequadas devido à alta transmissão no infravermelho. Embora estas películas possuindo estas características, ainda são amplamente comercializadas para controlar o ganho de calor. Pode-se afirmar que esta película tem vantagens apenas quando comparada ao vidro incolor.

As películas refletivas têm baixa transmissão de luz visível e infravermelho (calor), bloqueiam os raios UV, e sua forte característica é o alto índice de reflexão, diminuindo a absorção e o ganho de calor. São boas opções para serem empregadas em locais de clima quente, em recuperação de fachadas existentes onde se deseja a mudança das

propriedades óticas, com agilidade, com custo relativamente menor quando comparado ao emprego de um vidro laminado e sem o inconveniente da eventual troca da esquadria. Não foi encontrada uma película ideal para o clima quente, ou seja, com alta transmissão no espectro visível e baixa no espectro infravermelho. Mas a película refletiva dentre os materiais estudados foi o material que apresentou a melhor média de desempenho para se atingir o conforto térmico. As películas refletivas estudadas ofereceram proteção solar, embora com baixa transmissão à luz visível.

Como trabalhos futuros sugere-se:

1 Realizar um estudo de caso fazendo levantamento em uma edificação, que utiliza vidro incolor sem proteção, da carga térmica necessária para manter a temperatura ambiente dentro dos limites de conforto, média de 24°C, recuperá-la aplicando película de proteção refletiva comparando o gasto de energia por metro quadrado para manter o ambiente dentro dos padrões de conforto.

2 Realizar um estudo de Pós-ocupação em edificações que utilizaram os produtos estudados nesta pesquisa utilizando o PMV e PPD. Analisar a demanda energética por metro quadrado destes ambientes para refrigeração.

3 Repetição do estudo realizado nesta pesquisa utilizando outros tipos de elementos transparentes.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v. 41, p. 94-108, fev. 2006.

ALLENDORF, M. D. Research needs for coatings on glass. Summary of the US Department of Energy roadmapping workshop. **Thin Solid Films**, v. 392, p. 155-163, 2001.

ALUCCI, M. P. **Banco de Dados: Características Térmicas, Luminosas e Acústicas de vidros, Plásticos e Translúcidos**. Disponível em:  
<<http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros.pdf>> Acesso em: 29 out. 2005.

ALVES, O. L.; GIMENEZ, I. F.; MAZALI, I. O. Vidros. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. Edição especial, p. 13–24, maio 2001.

ASHRAE Standard 55P. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Third public review. Atlanta, EUA, 2003. 52p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 15220-3. Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: **Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005a. 30p.

\_\_\_\_\_. NBR 15220-1. Desempenho Térmico de Edificações Parte 1: **Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2005b. 8p.

\_\_\_\_\_. NBR 15220-2. Desempenho Térmico de Edificações Parte 2: **Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005c. 34p.

BALOCCO, C; GRAZZINI, G. Thermodynamic parameters for energy sustainability of urban areas. **Solar Energy**, v. 69, p. 351–356, abr. 2000.

BUGGENHOUT, V. S. VRANKEN, E.; SCHUYSEMANS, S.; LEMAIRE, J.; MALCOT, W. V.; BERCKMANS, D. On-line airflow pattern measurement in ventilated buildings. **Building and Environment**, v. 40, p. 1291-1301, fev. 2005.

CARAM de Assis, R. M. **Vidros e o Conforto Ambiental: Indicativos para o emprego na construção civil**. 1996. 131p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

CARAM de Assis, R. M. **Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental**. 1998. 165p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.

CASTRO, A. P. A. S. **Análise da Refletância de Cores de Tintas Através técnica espectrofotométrica**. 2002. 127p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.

CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. Medidas de Refletância de Cores de Tintas Através de Análise Espectral. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-76, abr. / jun. 2003.

Companhia Brasileira de Cristal - CEBRACE. **História do vidro**. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/>> Acesso em: 04 Maio 2006.

COSTA, E. C. da. **Física Aplicada à Construção**. Conforto Térmico. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1991. 265p.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A. **Combate ao desperdício**. Programa PROCEL. Disponível em: <[eletrobras.com.br/em\\_programas\\_procel/default.asp](http://eletrobras.com.br/em_programas_procel/default.asp)> acesso em 8 dez. 2006.

ENSHEN, L; YONG, W. Are the relative variation rates (RVRs) approximate in different cities when the same energy-efficiency reform is taken to the same building? **Building and Environment**, v. 40, p. 453-464, abr. 2005.

FARIA, L. C. de; SOUZA, P. S. de. **Métodos Espectrofotométricos de Análise**. Apostila. Instituto de Química. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2006, 86p.

FERNANDES, A. M. C. P. **Insolação de Edifícios e o Projeto de Suas Proteções Solares**. 2002a. Disponível em: <<http://www.ucg.br/deparcursos/arq/ConfortoTermico/index.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2005.

\_\_\_\_\_. **Clima da Região de Goiânia**. 2002b. Disponível em: <<http://www.ucg.br/deparcursos/arq/ConfortoTermico/index.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2005.

\_\_\_\_\_. **Comportamento Higrotérmico Do Corpo Humano**. 2002c. Disponível em: <<http://www.ucg.br/deparcursos/arq/ConfortoTermico/index.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2005.

\_\_\_\_\_. **Arquitetura do Trópico**. 2003. Disponível em: <<http://www.ucg.br/deparcursos/arq/ConfortoTermico/index.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2005.

FERREIRA, F. L. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil**. 2003. 123P. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

FOREGGER, R. Windowless Structures; Annotated Bibliography. **Building and Environment**, v. 32. p. 485-496, set. 1997.

FRANK, Th. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 1175-1185, nov. 2005.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 6ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243p.

GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, out / dez. 2005.

GHISI, E.; TINKER, J. A. An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, v. 40, p. 51-61, jan. 2005.

GIL, E. de S. **Controle Físico-Químico de Qualidade de Medicamentos**, 2ª ed., São Paulo: LMC-Pharmabooks, 2005. 500p.

GRATIA, E.; HERDE, A. Design of low energy office buildings. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 473-491, jun. 2003.

GRIMM, A. M. **Meteorologia Básica**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Física. Curitiba, 1999. Notas de aula. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>>. Acesso em 14 out. 2005.

HANQING, W.; CHUNHUA, H.; ZHIQIANG, L.; GUANGFA, T.; YINGYUN, L.; ZHIYONG, W. Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air-conditioned buildings. **Building and Environment**, v. 41, p. 1522-1529, nov. 2006.

HARRIS, Daniel C. **Análise Química Quantitativa**. Tradução: Carlos A. S. Riehl; Alcides W. S. Guarino. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2001. 862p.

Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE - **Eficiência energética das edificações**. Disponível em: <[http://www.inee.org.br/eficiencia\\_downloads.asp?cat=eficiencia](http://www.inee.org.br/eficiencia_downloads.asp?cat=eficiencia)> Acesso em 28 nov. 2006.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET – **Climatologia / Sensação Térmica**. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=/html/clima/conforto\\_term/index.html](http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=/html/clima/conforto_term/index.html)> Acesso em 02 ago. 2006.

INSULFILM. Filme de proteção solar para arquitetura. Disponível em: <<http://www.insulfilm.com.br/>> acesso em 14 ago.2006.

JAMES, P. A. B.; BAHAJ, A. S. Smart glazing solutions to glare and solar gain: a 'sick building' case study. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 1058-1067, out. 2005.

JANNUZZI, G. M. et al. Metodologia para avaliação da aplicação dos recursos dos programas de eficiência energética. **Energy Discussion Paper**, nº 2.60-01/04, mar. 2004. 11p.

JORGE, J. A daylight criterion on solar controls for comparing sky radiance models. **Building and Environment**, v. 31, p. 225-232, maio 1996.

KARLSSON, J.; RUBIN, M.; ROOS, A. Evaluation of predictive models for the angle-dependent total solar energy transmittance of glazing materials. **Solar Energy**, v.71, p. 23-31, jul. 2001.

KOLOKOTRONI, M.; GIANNITSARIS, I.; WATKINS, R. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. **Solar Energy**, v. 80, p. 383-392, abr. 2006.

KONTOLEON, K. J.; BIKAS, D. K. Modeling the influence of glazed openings percentage and type of glazing on the thermal zone behavior. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 389-399, 2002.

KOSIK, William J. Design Strategies For Hybrid Ventilation. **ASHRAE Journal**, v. 43, n. 10, p. 18-24, out. 2001.

KRASNOPOL'SKII, B. I. Science for glass production. Numerical modeling and analysis of strength properties in glass. **Glass and Ceramics**, v. 62, p. 375-378, nov. 2005.

KRAUSE, C. B.; SANTOS, M. J. O.; NIEMEYER, M. L.; PORTO, M. M.; GOMES, A. M. R. C.; TEIXEIRA, K. C. **Bioclimatismo: alguns fundamentos e instrumentos para concepção em clima tropical úmido para edificações previstas sem climatização ou com climatização mista**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Rio de Janeiro, 2005, 83p. Disponível em: <<http://www.fau.ufrj.br/apostilas/conforto/apostilacbk20051.pdf>> Acesso em 11 nov. 2005.

LAM, J. C. Energy analysis of commercial buildings in subtropical climates. **Building and Environment**, v. 35, p. 19-26, jan. 2000.

LAM, J. C.; HUI, S. C.M.; CHAN, A. L. S. Regression analysis of high-rise fully air-conditioned office buildings. **Energy and Buildings**, v. 26, p. 189-197, 1997.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C. **Desempenho Térmico de Edificações**. Manual da disciplina de mesmo nome da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. 105p. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv\\_5161/ecv\\_5161.html](http://www.labee.ufsc.br/graduacao/ecv_5161/ecv_5161.html)> Acesso em 03 mai. 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na Arquitetura**. 2ª ed. São Paulo: PW Editores, 2004. 188p.

LIANG, J.; LI, B.; WU, Y.; YAO, R. An investigation of the existing situation and trends in building energy efficiency management in China. **Energy and Buildings**, In Press, Corrected Proof, Available online 20 December 2006.

MASSAMBANI, O. **O CLIMA DA TERRA: Processos, Mudanças e Impactos**. Departamento de Ciências Atmosféricas – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG-USP. Disponível em: <<http://www.dca.iag.usp.br/www/material/omassamb/CHO-Poli/>> Acesso em 07 nov. 2006.

MEIER, A.; OLOFSSON, T.; LAMBERTS, R. **What is an Energy-Efficient Building?** In: IX Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. 2002, Paraná, Brasil. 10p.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MIANA, A. C. **Avaliação de desempenho térmico de brises transparentes: ensaio em células-teste**. 2005. 200p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, 1992. 84p.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. 2007. 48p.

NIJNATTEN, P. A. V. A spectrophotometer accessory for directional reflectance and transmittance of coated glazing. **Solar Energy**, v. 73, p. 137–149, set. 2002.

PINATTI, A. A. **Indicações sobre a utilização de filme eletrocromicos Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como proteção solar em edifícios**. 1999. 88p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo.

PROCEL - Desenvolvimento de métodos de avaliação de transferência de calor em janelas - Justificativa da pesquisa. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/furnas/projeto\\_2005-2007.html](http://www.labee.ufsc.br/furnas/projeto_2005-2007.html)> Acesso em 12 nov. 2005.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2ª Edição. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores Ltda, 1985. 239p.

RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. 2002. 196p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A.; ASSIMAKOPOULOS, D. N. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. **Solar Energy**, v. 70, p. 201-216, mar. 2001.

SANTOS, J. C. P. dos. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. 2002. 363p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo.

SANTOS, J. C. P. dos; LÜBECK, A.; HEDLUND, F. A. **Análise Comparativa de Características de Materiais Transparentes de Mesma Coloração**. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável - X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2004, São Paulo. 6p.

SENA, C. B. **Análise comparativa entre o método de Mahoney Tradicional e o método de Mahoney Nebuloso para caracterização do clima no projeto arquitetônico**. 2004. 132p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

SHALDERS, A. **Regulamentação de Desempenho Térmico e Energético de Edificações**. 2003. 198p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Eletrotécnica e Energia / USP, São Paulo.

SIGNOR, R. **Análise de Regressão do Consumo de Energia Elétrica Frente a Variáveis Arquitetônicas Para Edifícios Comerciais Climatizados em 14 Capitais Brasileiras.** 1999. 314p. Dissertação de Mestrado. EEC/UFSC, Santa Catarina.

SILVA, L. B. da. **Análise da Relação Entre Produtividade e o Conforto Térmico: O Caso dos Digitadores do Centro de Processamento de Dados e Cobrança da Caixa Econômica Federal do Estado de Pernambuco.** 2001. 124p. Tese de Doutorado. EEC/UFSC, Santa Catarina.

SILVA, V. G.; SILVA, M. G.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 7-18, jul./set. 2003.

SKOOG, D. A.; LEARY, J. J.; HOLLER, F. J.; NIEMEN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental.** Tradução Ignez Caracelli. 5ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2002. 836p.

TOLEDO, E. **Ventilação Natural das Habitações.** Maceió: Edufal, 1999. 171p.

WANG, Z. A field study of the thermal comfort in residential buildings in Harbin. **Building and Environment**, v. 41, p. 1034 -1039, set. 2006.

WEIGMANN, P. R. **Metodologia para eficiência energética, otimização do consumo e combate ao desperdício de energia através da inserção da cultura empreendedora e fontes de inovação tecnológica.** 2004. 101 p. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

XAVIER, A. A. P. **Predição de Conforto Térmico em ambientes internos com atividades sedentárias – Teoria Física Aliada a Estudos de Campo.** 2000. 251p. Tese de Doutorado. EEC/UFSC, Santa Catarina.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)