

Universidade Federal de Juiz de Fora
Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído
Mestrado em Ambiente Construído

Amanda Schelgshorn Pereira

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO:
PESQUISA PARA PROPOSIÇÃO DE *BRISE-SOLEIL* FOTOVOLTAICO**

Juiz de Fora

2014

Amanda Schelgshorn Pereira

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO:
PESQUISA PARA PROPOSIÇÃO DE *BRISE-SOLEIL* FOTOVOLTAICO**

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora constituída segundo as Normas estabelecidas pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ambiente Construído da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.

Orientador: D.Sc. Marcos Martins Borges

Juiz de Fora

2014

Amanda Schelgshorn Pereira

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO:
PESQUISA PARA PROPOSIÇÃO DE *BRISE-SOLEIL* FOTOVOLTAICO**

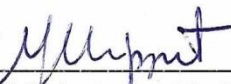
Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora constituída segundo as Normas estabelecidas pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ambiente Construído da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído.

Aprovada em 07 de Julho de 2014.

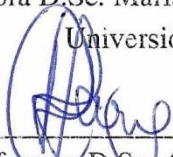
BANCA EXAMINADORA



Professor D.Sc. Marcos Martins Borges (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora



Professora D.Sc. Maria Aparecida Steinherz Hippert (Convidada)
Universidade Federal de Juiz de Fora



Professora D.Sc. Adriana Ferreira de Faria (Convidada)
Universidade Federal de Viçosa

Ao querido Senhor Jesus. Aos meus amados pais, Fernando e Regina, aos meus irmãos, ao meu noivo Luís Cláudio. E ao meu orientador, Professor Marcos Martins Borges, pelo incentivo na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos que ajudaram na realização deste trabalho, sendo em especial:

Ao querido Senhor Jesus, que sempre está ao meu lado nos momentos mais difíceis.

À UFJF, Universidade Federal de Juiz de Fora, pelo suporte físico e técnico oferecido para a pesquisa.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de Mestrado, a qual, foi de grande ajuda para o desenvolvimento do trabalho.

Ao meu orientador, Professor Marcos Martins Borges, que foi como um pai para mim.

Aos meus pais, Fernando e Regina, aos meus queridos irmãos, e ao meu noivo Luís Cláudio, pelo amor, pela ajuda e torcida.

À Banca Examinadora deste trabalho e todos os membros e os meus queridos amigos do Mestrado em Ambiente Construído e da Faculdade de Engenharia.

RESUMO

PEREIRA, A. S. **Desenvolvimento de Produto:** Pesquisa para Projeto de *Brise-Soleil* Fotovoltaico. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

Devido à redução dos custos de produção no mercado internacional e pelo incentivo ao uso racional dos recursos energéticos, as tecnologias fotovoltaicas apresentam inúmeras possibilidades e boas oportunidades de inovação. Neste sentido, este trabalho é baseado em pesquisa experimental, tendo por objetivo o projeto de um *brise-soleil* com a utilização de placas fotovoltaicas. Nesta proposição, busca-se aumentar a eficiência energética do módulo fotovoltaico ao se inserir aletas para dissipação de calor. Isto favorece ao resfriamento da superfície posterior do módulo melhorando seu desempenho energético. Para isto, foi realizada revisão detalhada da literatura; identificação das tecnologias utilizadas atualmente; e utilização de software específico para projeto de produto: prototipagem virtual. O processo de projeto foi orientado por metodologia específica da área de desenvolvimento de produtos. Os conceitos elaborados foram validados e ranqueados através do matriz de decisão e por meio de simulação virtual em modelador tridimensional com capacidade de análise de protótipos virtuais. O componente para dissipação de calor foi experimentado em laboratório com auxílio de câmera termográfica, para o registro de variações de temperatura. O *brise-soleil* fotovoltaico foi projetado em conformidade com o módulo fotovoltaico de modelo SX 120 U da empresa BP Solar. Posteriormente, o projeto foi aplicado em estudo no prédio da Justiça Federal no município de Juiz de Fora (MG). Este estudo foi norteado pelo método prescritivo RTQ-C (2010) – (Requisitos Técnicos da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos), onde foi realizada a avaliação da eficiência energética da edificação em sua situação atual, e na situação hipotética, após a experimentação virtual do *brise-soleil* fotovoltaico na fachada norte. Por fim, destaca-se a colaboração do trabalho para a proposição de soluções que combinam conforto ambiental e eficiência energética em edificações.

Palavras-chave: *Brise-Soleil*, Módulo Fotovoltaico, Eficiência Energética.

ABSTRACT

PEREIRA, A. S. **Product Development:** Research for Project *Brise-Soleil* Photovoltaic. 2014. 150 f. Dissertation (Master of Built Environment). Faculty of Engineering, Federal University of Juiz de Fora, 2014.

Due to the reduction of production costs in the international market and the rational use of energy resources, photovoltaic technologies present many possibilities and good opportunities for innovation. In this sense, this work is based on experimental research, aiming to design a *brise-soleil* with the use of photovoltaics. In this proposal, we seek to increase the energy efficiency of PV modules by inserting fins for heat dissipation. This favors the cooling of the rear surface of the module improving their energy performance. For this, detailed literature review was conducted; and use of specific software to product design; and virtual prototyping. The design process was driven by a specific methodology in the area of product development. Developed concepts were validated and unranked through the specific decision matrix and through three-dimensional virtual simulation modeler. The component for heat dissipation was tested in the laboratory with the aid of thermographic camera to record temperature changes. Importantly, the *brise-soleil* PV was designed in accordance with the PV module SX 120 U model company BP Solar. Subsequently, the project was applied to study at the Federal Court building in the city of Juiz de Fora (MG). This study was guided by prescriptive RTQ - C (2010) method, where the rating of the energy efficiency of the building in its current state was performed, and in the hypothetical situation, after the virtual trial *brise-soleil* PV on the north facade. Finally, there is the collaborative work in proposing solutions that combine environmental comfort and energy efficiency in buildings.

Keywords: *Brise-soleil*, PV module, Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo unificado.....	34
Figura 2 - Principais fases do PDP (ULRICH & EPPINGER, 2012)	37
Figura 3 - Inserção dos conceitos sustentáveis no PDP.....	44
Figura 4 - Carta bioclimática	46
Figura 5 - Zona bioclimática 3	48
Figura 6 - Movimento aparente do sol.....	51
Figura 7 - Modelo de carta solar.....	51
Figura 8 - Ângulos verticais e horizontais de sombreamento	52
Figura 9 - Transferidor solar.....	52
Figura 10 - Máscaras de sombreamento	53
Figura 11 - Modelo de <i>brise-soleil</i> horizontal	54
Figura 12 - Modelo de <i>brise-soleil</i> vertical	54
Figura 13 - Modelo de <i>brise-soleil</i> combinado	55
Figura 14 - Mapa de irradiação solar	57
Figura 15 - Efeito fotovoltaico	58
Figura 16 - Constituição do módulo fotovoltaico.....	59
Figura 17 - Tipos de células fotovoltaicas.....	59
Figura 18 - Eficiência dos fotovoltaicos.....	62
Figura 19 - Efeitos da temperatura e radiação incidente (01).....	63
Figura 20 - Efeito da temperatura e radiação solar (02)	63
Figura 21 - Aplicações em arquitetura	65
Figura 22 - Perfil de alumínio U duplo (unidade mm)	70
Figura 23 - Módulo com dissipador	71
Figura 24 - Simulação do vento frontal incidente	71
Figura 25 - Zonas de pressão.....	72
Figura 26 - Gráfico: força x velocidade do vento (eixo x)	72
Figura 27 - Parâmetros de entrada, simulação de vento	73
Figura 28 - Opção suporte I - escala 1/4.....	75
Figura 29 - Principais pontos de tensões - suporte I.....	75
Figura 30 - Tensões von mises - suporte I.....	76

Figura 31- Deslocamento estático – suporte I	76
Figura 32 - Opção suporte II - escala 1/4	77
Figura 33 - Principais pontos de tensões - suporte II	77
Figura 34 - Tensões von mises - suporte II	78
Figura 35 - Deslocamento estático - suporte II.....	78
Figura 36 - Opção suporte III - escala 1/4	79
Figura 37 - Principais pontos de tensões - suporte III	79
Figura 38 - Tensões von mises - suporte III	80
Figura 39 - Deslocamento estático - suporte III	80
Figura 40 - Opção suporte IV - escala 1/4.....	81
Figura 41 - Principais pontos de tensões - suporte IV	81
Figura 42 - Tensões von mises - suporte IV	82
Figura 43 - Deslocamento estático - suporte IV	82
Figura 44 - Suporte III: alterações nas bordas internas para maior resistência mecânica	84
Figura 45 - Suportes laterais encaixados em barra cilíndrica horizontal.....	85
Figura 46 - Peça de encaixe entre barra cilíndrica e apoio vertical	85
Figura 47 - Tensões von mises, pino de encaixe em aço 1020.....	86
Figura 48 - Tensões von mises, pino de encaixe em alumínio 1060	86
Figura 49 - Placa fotovoltaica montada em suporte e barra horizontal	87
Figura 50 - Detalhe do formado e furo do apoio vertical	87
Figura 51 - Encaixe entre o conjunto fotovoltaico e apoio vertical.....	87
Figura 52 - Tensões von mises: furos do apoio vertical	88
Figura 53 - Viga de fixação à edificação	88
Figura 54 - Tensões von mises: viga de aço do <i>brise-soleil</i>	89
Figura 55 - Deslocamento estático: viga de aço do <i>brise-soleil</i>	89
Figura 56 - Projeto <i>brise-soleil</i> fotovoltaico -01: escala 1/50	90
Figura 57 - Parte posterior: motor pivotante com pistão	91
Figura 58 - BP Solar, SX 120U	92
Figura 59 - Perfis em alumínio unidos para formação de dissipador	92
Figura 60 - Fita térmica Unidex	93
Figura 61 - Câmera termográfica Fluke TI 100.....	93

Figura 62 - Medição de temperatura no módulo fotovoltaico	94
Figura 63 - Experiência com câmera termográfica	95
Figura 65 - Medida posterior - com aletas (20/03/2014)	96
Figura 64 - Medida posterior - sem aletas (20/03/2014)	96
Figura 67 - Medida frontal - com aletas (20/03/2014)	97
Figura 66 - Medida frontal - sem aletas (20/03/2014)	97
Figura 69 - Medida Posterior - com aletas (27/05/2014)	98
Figura 68 - Medida posterior - sem aletas (27/05/2014)	98
Figura 71 - Medida frontal - com aletas (27/05/2014)	98
Figura 70 - Medida frontal - sem aletas (27/05/2014)	98
Figura 72 - Localização do prédio da Justiça Federal	100
Figura 73 - Fotos fachada edifício da Justiça Federal - 01	100
Figura 74 - Fotos fachada edifício da Justiça Federal - 02	101
Figura 75 - Simulação no Excel do indicador de consumo da envoltória	110
Figura 76 - Tabela do Inmetro para condicionadores de ar split, piso x teto	115
Figura 77 - Classificação do Inmetro para splits hi-wall	116
Figura 78 - Simulação Resultado Final no Excel: Situação Atual	119
Figura 79 - Modelagem em Sketch-up, edifício da Justiça Federal (JF, MG)	119
Figura 80 - Proteção solar paralela, onde $D < H$ para alteração no PAFT	120
Figura 81 - Índice de consumo da envoltória após <i>brise-soleil</i> fotovoltaico	122
Figura 82 - Rendimento energético da usina fotovoltaica da UFJF (energia - kWh)	123
Figura 83 - Resultado final no Excel: após <i>brise-soleil</i> fotovoltaico	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Objetivos da dissertação	22
Tabela 2 - Exemplos e características dos tipos de produto	27
Tabela 3 - Efeitos do ciclo vida do produto.....	30
Tabela 4 - Fases do modelo unificado proposto por ROZENFELD <i>et al.</i> (2006).....	34
Tabela 5 - Modelo de PDP proposto por ULRICH & EPPINGER (2012)	36
Tabela 6 - Matriz de avaliação e seleção de conceitos	38
Tabela 7 - Desempenho e pontuação	38
Tabela 8 - Refinamento da matriz de avaliação e seleção de conceitos	39
Tabela 9 - Refinamento da matriz de avaliação e seleção de conceitos	43
Tabela 10 - <i>brise-soleils</i> disponíveis no mercado brasileiro	55
Tabela 11 - Preço dos fotovoltaicos em dólar (US\$/kWp).....	64
Tabela 12 - Preços da tabela anterior convertidos em reais (R\$ /kWp)	64
Tabela 13 - Definição do produto e mercados.....	68
Tabela 14 - Demandas do projeto.....	69
Tabela 15 - Pontuação das características	69
Tabela 16 - Resultados dos esforços gerados pelo vento	73
Tabela 17- Algumas propriedades da liga de alumínio1060	74
Tabela 18 - Características suporte I	75
Tabela 19 - Características suporte II.....	77
Tabela 20 - Características suporte III.....	79
Tabela 21 - Características suporte IV	81
Tabela 22 - Matriz de seleção dos conceitos	83
Tabela 23 - Pontuação de desempenho.....	83
Tabela 24 - Matriz de refinamento adaptada	84
Tabela 25 - Algumas propriedades da liga de aço 1020.....	86
Tabela 26 - Medidas câmera termográfica 01 – 20/03/2014	95
Tabela 27 - Medidas câmera termográfica 02 – 20/03/2014.....	96
Tabela 28 - Medidas câmera termográfica 01 – 27/05/2014.....	97
Tabela 29 - Medidas câmera termográfica 02 – 27/05/2014	98

Tabela 30 - Tabela síntese dos pré-requisitos da envoltória.....	101
Tabela 31 - Transmitância térmica	102
Tabela 32 - Cores e absordância zona bioclimática 3	102
Tabela 33 - Verificação de pré-requisitos envoltória elementos opacos (áreas condicionadas)	103
Tabela 34 - Quantificação das áreas Justiça Federal	105
Tabela 35 - Parâmetros de referência / IC max. e IC min	108
Tabela 36 - Limites de cada nível de eficiência da envoltória	109
Tabela 37 - Limites numéricos dos níveis de eficiência da envoltória.....	109
Tabela 38 - Pré-requisitos por nível de eficiência de iluminação artificial	110
Tabela 39 - Densidade de potência de iluminação limite (DPL _L) por nível e atividade	111
Tabela 40 - Potência instalada limite por atividade.....	111
Tabela 41 - Limites numéricos dos níveis de eficiência da iluminação	112
Tabela 42 - Potência total instalada por atividade	112
Tabela 43 - Equipamentos do ar condicionado central Justiça Federal.....	113
Tabela 44 - Principais aparelhos a serem classificados.....	114
Tabela 45 - Equivalentes numéricos para cada nível de eficiência	117
Tabela 46 - Quantificação de áreas para equação final	118
Tabela 47 - Equivalentes numéricos para classificação da situação atual.....	118
Tabela 48 - Valores recapitulados	120
Tabela 49 - Níveis de eficiência envoltória	121
Tabela 50 - Equivalentes numéricos para classificação da após <i>brise-soleil</i> fotovoltaico.....	122
Tabela 51 - Produção fotovoltaica, usina UFJF	123
Tabela 52 - Estimativa de produção para 380 módulos fotovoltaicos.....	124
Tabela 53 - Comparativo entre consumo Justiça Federal e produção <i>brise-soleil</i> fotovoltaico	124

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Esforço perpendicular resultante máximo	73
Equação 2 - Indicador de consumo da envoltória, zona bioclimática 3, para área superiores a 500m ²	103
Equação 4 - Fator de forma	106
Equação 3 - Fator de altura.....	106
Equação 5 - PAFO.....	106
Equação 6 - PAFT	106
Equação 7 - Ângulo horizontal de sombreamento	106
Equação 9 - Cálculo do indicador de consumo da envoltória	107
Equação 8 - Ângulo vertical de sombreamento.....	107
Equação 10 - Cálculo indicador de consumo máximo	108
Equação 11 - Cálculo indicador de consumo mínimo.....	108
Equação 12 - Intervalo para cálculo de níveis	109
Equação 13 - Classificação geral da edificação.....	117
Equação 14 - Resultado final avaliação situação atuação	118
Equação 15 - PAFT corrigido após <i>brise-soleil</i> Fotovoltaico	121
Equação 16 - Índice de consumo da envoltória com <i>brise-soleil</i> fotovoltaico.....	121
Equação 17 - Resultado final após <i>brise-soleil</i>	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AC	Área Útil de Ambientes Condicionados
Aenv	Área da Envoltória
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
ANC	Área Útil de Ambientes Não Condicionados
APT	Área Útil de Permanência Transitória
Apcob	Área Projeção da Cobertura
Atot	Área Total Construída
AU	Área Útil
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social.
DPL _L	Densidade de Potência de Iluminação Limite
EPE	Empresa Pública de Pesquisa Energética.
EqNumCA	Equivalente Numérico do Ar Condicionado
EqNumDIP	Equivalente Numérico Sistema de Iluminação
EqNumEnv	Equivalente Numérico da Envoltória
EqNumV	Equivalente Numérico de Ambientes Não Condicionados (Ventilação Natural)
EVA	Acetato de Vinil Etila.
FA	Fator de Altura
FF	Fator de Forma
FS	Fator Solar
GEN	<i>Global Ecolobelling Network.</i>
Gepeq	Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade.
IC env	Índice de Consumo da Envoltória
IC max	Índice de Consumo Máximo
IC min	Índice de Consumo Mínimo
ICMS	Imposto sobre Circulação Mercadoria e Serviços.
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados.
MMA	Ministério de Meio Ambiente.
MME	Ministério de Minas e Energia.

PAFO	Porcentagem de Abertura na Fachada Oeste
PAFT	Porcentagem de Abertura na Fachada Total
PCP	Planejamento e Controle da Produção.
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto.
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge.</i>
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.
QFD	<i>Quality Function Deployment.</i>
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora.
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina.
Vtot	Volume Total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	JUSTIFICATIVA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	21
1.3	METODOLOGIA	22
1.4	CONDIÇÕES DE CONTORNO	23
1.5	ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
2.1	PRODUTO: CONCEITOS E ABORDAGENS	25
2.1.1	Modalidades de inovações	28
2.1.2	Ciclo de vida do produto	28
2.2	METODOLOGIAS PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	30
2.2.1	Desenvolvimento de produto sequencial ou tradicional.....	32
2.2.2	Desenvolvimento integrado de produto.....	33
2.2.2.1	<i>Modelo unificado (ROZENFELD et al., 2006)</i>	33
2.2.2.2	<i>Modelo estruturado (ULRICH & EPPINGER, 2012)</i>	35
2.3	PROJETO DE PRODUTO PARA O MEIO AMBIENTE	39
2.3.1	Projeto para a reciclagem	41
2.3.2	Certificação ambiental	42
2.4	INSERÇÃO DOS CONCEITOS SUSTENTÁVEIS NO PDP	43
2.5	EDIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL.....	45
2.5.1	Conforto térmico e luminoso	45
2.5.2	Eficiência energética na edificação, o RTQ-C	49
2.6	ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS DE PROTEÇÃO SOLAR.....	49

2.6.1	Geometria e instrumentos de avaliação solar	50
2.6.2	Tipos de protetores solares	53
2.7	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	56
2.7.1	Potencial nacional para energia solar.....	57
2.7.2	Efeito fotovoltaico.....	58
2.7.3.1	<i>Células cristalinas</i>	60
2.7.3.2	<i>Células de película fina</i>	61
2.7.4	Eficiência dos painéis fotovoltaicos.....	61
2.7.5	Fatores que Influenciam na eficiência	62
2.7.6	Custos dos painéis fotovoltaicos	63
2.8	APLICAÇÕES EM ARQUITETURA	64
2.8.1	Orientação e inclinação ótima para captação solar	65
2.9	CONSIDERAÇÕES SOBRE ALETAS	66
3	DESENVOLVIMENTO	67
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE PROJETO	67
3.1.1	Determinação das oportunidades do mercado	68
3.1.2	Determinação de requisitos para observação em projeto	69
3.1.3	Módulo fotovoltaico com aletas para dissipação de calor	70
3.1.4	Simulação de vento para projeto de componentes	71
3.1.5	Opções de suporte para módulo fotovoltaico.....	73
3.1.5.1	<i>Opção suporte I</i>	75
3.1.5.2	<i>Opção suporte II</i>	77
3.1.5.3	<i>Opção suporte III</i>	79
3.1.5.4	<i>Opção suporte IV</i>	81
3.1.6	Matriz de seleção aplicada para escolha do suporte	83
3.1.7	Projeto final	85
3.2	EXPERIMENTO COM CÂMERA TERMOGRÁFICA	92
3.2.1	Considerações sobre emissividade	94
3.2.2	Medição: 20/03/2014 (11h00 h às 12h00 h)	95

3.2.3	Medição: 27/05/2014 (11h00 h às 12h00 h)	97
3.2.4	Conclusões experimentação	99
3.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO RTQ-C: SITUAÇÃO ATUAL	99
3.3.1	Determinação da Eficiência da Envoltória.....	101
3.3.1.1	<i>Pré-requisitos da envoltória, edifício da Justiça Federal</i>	102
3.3.1.2	<i>Cálculo do consumo da envoltória, edifício da Justiça Federal</i>	103
3.3.2	Determinação da eficiência da iluminação artificial.....	110
3.3.2.1	<i>Pré-requisitos da iluminação artificial</i>	110
3.3.2.2	<i>Cálculo do consumo da iluminação artificial</i>	111
3.3.3	Determinação da eficiência do ar condicionado.....	113
3.3.4	Classificação final: situação atual da edificação	117
3.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO RTQ-C: APÓS <i>BRISE-SOLEIL</i> FOTOVOLTAICO .	119
3.4.1	Determinação da eficiência da envoltória após <i>brise-soleil</i> fotovoltaico	120
3.4.2	Classificação final após <i>brise-soleil</i> fotovoltaico.....	122
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
	REFERÊNCIAS.....	128
	ANEXO 1	133
	ANEXO 2	135
	ANEXO 3	144
	ANEXO 4	147
	ANEXO 5	149

1 INTRODUÇÃO

No capítulo introdutório são apresentadas as considerações gerais sobre a pesquisa, buscando a identificação das justificativas, dos objetivos gerais e específicos, e dos processos metodológicos adotados.

1.1 JUSTIFICATIVA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os produtos que apresentam os princípios da sustentabilidade possuem em sua constituição materiais renováveis, biotecnologias, e a possibilidade para reciclagem. Atualmente, a indústria da construção civil utiliza diversos produtos direcionados à preservação ambiental, como coletores solares de eletricidade, aquecedores com inovações tecnológicas, válvulas de descarga econômicas, revestimentos vegetais, concretos com agregados ecológicos, produtos derivados de reprocessamento, entre outros (ARAÚJO, 2009).

Neste trabalho são consideradas as diferenciações entre os termos: produto ecológico, produto sustentável e produto eco-eficiente. Deste nodo, compreendem-se por produtos ecológicos, os produtos que possuem desde da concepção, quase que unicamente, a preocupação com a preservação da biodiversidade, buscando não agredir e não alterar o equilíbrio dos ecossistemas ao longo de todos os processos de fabricação, além de reconstituí-lo. Os produtos sustentáveis são aqueles fabricados para respeitar os interesses ambientais, sociais e econômicos, assim são produzidos a fim de conciliar os conceitos que compõem o tripé do conceito geral de sustentabilidade (SUSTENTAX, 2011). Já os produtos eco-eficientes são desenvolvidos para gerar menores danos ambientais, estando em muitos casos, relacionados com abordagens de eficiência energética.

A partir destes pressupostos, este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento de um produto que busca contemplar em seu escopo alguns princípios sustentáveis, porém sem a responsabilidade de ser enquadrado em alguma das categorias supracitadas. Assim, o objetivo foi desenvolver um produto que incorpore conceitos da sustentabilidade, como a eficiência energética, contudo, necessitando de aprofundamento maior em sua elaboração, para possível classificação como sustentável.

De acordo com o grupo econômico ambiental Sustentax (2010) – empresa que organiza etiquetagem verde em produtos e serviços - 73% dos brasileiros planejam aumentar seus gastos com produtos que possuam princípios sustentáveis, sendo que, 28% dos

consumidores estariam dispostos a gastar 30% a mais por serviços ecológicos. Dentre estes consumidores, 40% optam por eletrodomésticos com o selo PROCEL de eficiência energética, e estão dispostos a pagar 10% a mais pelo selo, mesmo em marcas desconhecidas. Esta tendência evidencia as possibilidades de mercado o desenvolvimento de tecnologias adaptadas as demandas ambientais. Porém, o mercado desses produtos ainda é pouco explorado no Brasil comparado com as inúmeras possibilidades encontradas no mercado internacional e os diversos trabalhos acadêmicos realizados em centros de pesquisa de universidades.

CHENG *et al.* (2004) observa que os produtos tecnológicos, e bem como os produtos que com características sustentáveis, apresentam peculiaridades em relação aos produtos convencionais. Isto devido aos riscos empreendidos na aceitação do mercado, e em seu processo de criação. Assim, existe um árduo caminho entre as pesquisas de laboratório e a chegada ao consumidor final, onde devem ser observados três pontos importantes no lançamento das inovações: a presença da figura do empreendedor, a disponibilidade de recursos financeiros, e o domínio técnico mínimo da tecnologia proposta.

Inicialmente, a tarefa do empreendedor está em propor soluções eficientes, que visem atender e melhorar as necessidades dos consumidores. Neste momento, é fundamental a pesquisa analítica do trinômio: tecnologia, produto e mercado. Essa interação é a base para a definição do projeto a ser trabalhado, o que possibilita uma melhor tomada de decisões em relação a real necessidade de um determinado bem ou tecnologia, e sua aplicabilidade (DRUMMOND, 2005).

Para Rozenfeld *et al.* (2006) é de fundamental importância a compreensão das metodologias de referência em desenvolvimento de produto e suas abordagens, para minimizar os riscos empreendidos. Assim, os autores argumentam que, o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) pode ser definido pelo conjunto de atividades que buscam conciliar as necessidades do mercado, as restrições tecnológicas e as estratégias comerciais das empresas, para a criação e aprimoramento de novos produtos. Seu principal objetivo é sistematizar a gestão do lançamento de novas tecnologias, ao propor soluções mais eficientes, que tenham qualidade e preço competitivo.

As demandas oriundas do setor energético apresentam-se como boas oportunidades para o desenvolvimento de novas inovações. De acordo com a Eletrobras (2013), estima-se que 50% da energia elétrica produzida no Brasil é gasta na manutenção e operação de sistemas artificiais de conforto ambiental, como iluminação, arrefecimento e aquecimento de

água. Porém, existem grandes possibilidades de economia de energia nas edificações. A instalação de produtos, visando à eficiência energética, pode representar uma economia de 30% em edificações já existentes. Em projetos novos é possível reduzir o consumo em 50% ao adotar soluções eficientes, desde a concepção da edificação. Isso resultou na geração do programa governamental brasileiro PROCEL Edifica, que tem por meta divulgar as práticas bioclimáticas de construção; a produção de manuais para capacitação profissional; a orientação de Prefeituras para adequação de Códigos de Obra; a parceria com institutos federais de pesquisas e a certificação das edificações (ELETROBRAS, 2013).

Portanto, esta pesquisa objetiva um estudo para a proposição de um *brise-soleil* fotovoltaico. Sua justificativa está pautada no aumento da demanda por tecnologias que considerem as necessidades ambientais, nas áreas de conforto ambiental e eficiência energética.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Esta dissertação possui objetivo na pesquisa para o desenvolvimento de um produto que possua características sustentáveis. Desta forma, o trabalho apresenta uma interface entre o setor de construção civil e o setor de produtos industriais. Assim, o estudo realiza revisão de literatura voltada para proposição de um *brise-soleil* fotovoltaico, contendo inovação incremental. Para tal, a proposta utiliza metodologia específica para desenvolvimento de produtos. Este estudo é correlacionado a pesquisa sobre a sustentabilidade aplicada ao projeto de produtos, abordando tópicos específicos de conforto térmico, conforto luminoso, células fotovoltaicas e eficiência energética nas edificações. Nesta proposta busca-se também a inserção de mecanismos específicos para o resfriamento da superfície da frontal do módulo fotovoltaico no projeto do produto. Isto, tendo em vista, uma possível melhora no desempenho energético do módulo. Assim, é realizada uma experimentação inicial com aletas de dissipação, para validação dos conceitos interpostos. Por fim, é apresentada simulação do uso do produto em estudo auxiliado pelo método RTQ-C (2010). Na Tabela 1 a seguir são explicitados a proposta, o objetivo geral e os específicos, para melhor compreensão e organização das idéias trabalhadas.

Tabela 1 - Objetivos da dissertação

PROPOSTA	OBJETIVOS	
	GERAL	ESPECÍFICOS
Pesquisar o desenvolvimento de produto com características sustentáveis.	Projetar <i>Brise-Soleil</i> Fotovoltaico, adaptável às diversas tipologias construtivas.	Revisar literatura correspondente as áreas de desenvolvimento de produto, conforto ambiental, células fotovoltaicas e sustentabilidade.
		Testar componente do projeto. Aletas dissipadoras aplicadas na superfície posterior do módulo fotovoltaico para redução da temperatura.
		Avaliar o uso do produto em estudo com RTQ-C (2010). Onde é classificada a condição atual de uma edificação, e a situação após a possível utilização do produto.

Fonte: Autora.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa é de natureza aplicada para investigar, comprovar ou rejeitar hipóteses levantadas no decorrer do trabalho dissertativo. Assim, pode ser classificada conforme explicitado nos itens a seguir, de acordo com Prodanov & Freitas (2013):

1. *Natureza*: Aplicada;
2. *Objetivo*: Exploratório, descritivo e experimental;
3. *Abordagem*: Qualitativa.

Portanto, em vista aos objetivos estabelecidos, inicialmente, foi revisada literatura específica para formação de repertório que auxilie no projeto do *brise-soleil* fotovoltaico: produto estudado na dissertação. O projeto foi orientado por metodologia estruturada em desenvolvimento de produto, observando as fases de pré-desenvolvimento e projeto conceitual do método dos autores Ulrich & Eppinger. Em seguida os modelos foram criados e testados, através do uso do modelador tridimensional paramétrico - programa Solidworks, capaz de realizar análises em protótipos virtuais. Após analisados desses foram aplicados na matriz de seleção proposta pelos autores acima, a fim de selecionar a melhor opção para a elaboração do projeto do *brise-soleil*. Na etapa posterior o conjunto da placa com as aletas foi experimentado em campo com a câmera termográfica. Por fim, foi realizada simulação do uso do produto, auxiliada pelo método prescritivo RTQ-C (2010), onde foi analisada uma edificação em situação real, e em situação hipotética levantada, após uma possível colocação do *brise-soleil* fotovoltaico na fachada norte.

1.4 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para delimitar as exclusões, este trabalho não abordou questões relativas ao processo de fabricação e manufatura do objeto projetado, estando direcionada para o projeto, que será auxiliado por método específico para desenvolvimento de produto. Também não foi abordadas questões relativas a quantificações de custos finais do produto, sendo brevemente mencionados, na revisão de literatura, os custos dos painéis fotovoltaicos. Compreende-se a importância da análise de custos para o projeto de um produto, porém em vista ao grande esforço para projeto e experimentação, esta questão fica direcionada a ser realizada em trabalhos futuros.

Por fim, as experimentações com câmera termográfica pretendem apenas confirmar alguns conceitos levantados, como a possibilidade de redução de temperatura no módulo ao inserir aletas para dissipação, não sendo direcionadas a comprovações mais aprofundadas.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada conforme a estrutura capitular apresentada a seguir:

1. INTRODUÇÃO: Argumenta e caracteriza o problema de pesquisa, apresentando os elementos estruturadores, compostos pela justificativa, pelos objetivos, pela metodologia, pelas condições de contorno e pela estruturação da dissertação.
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: Este capítulo apresenta a revisão de literatura sobre o PDP, no qual considera a importância do conceito de inovação e processo de projeto no desenvolvimento de novas tecnologias. Assim, inicia-se a argumentação, expondo os conceitos básicos referentes ao processo de projeto, à inovação e ao ciclo de vida de produtos. São apresentados alguns modelos de referência em desenvolvimento de produto. Posteriormente, são revisados os conceitos de sustentabilidade relacionados a desenvolvimento de produtos, e os conceitos básicos sobre conforto térmico e luminoso. São também estudados, os conceitos referentes aos *brise-soleils*, células fotovoltaicas, e eficiência energética nas edificações.
3. DESENVOLVIMENTO: É apresentado concretamente o trabalho dissertativo e o projeto do *Brise-Soleil* Fotovoltaico. Também é apresentada experimentação física de componente proposto no projeto final – as aletas de dissipação de calor.

Por fim, é realizada análise de eficiência energética do edifício da Justiça Federal, localizado na cidade de Juiz de Fora. Este estudo tem por finalidade avaliar o desempenho energético da edificação, ao utilizar os Requisitos Técnicos da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C, 2010), um método prescritivo. Assim, são avaliados os desempenhos energéticos na situação atual, e em situação hipotética, após a simulação de aplicação do produto na edificação, comparando-se as classificações obtidas.

4. **CONSIDERAÇÕES FINAIS:** Capítulo que apresenta o fechamento do trabalho dissertativo, expondo também propostas para futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas as considerações gerais a respeito do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), considerando a grande importância das inovações. Também são estudados os conceitos referentes a conforto térmico e luminoso, células fotovoltaicas, brise-soleils e eficiência energética nas edificações.

2.1 PRODUTO: CONCEITOS E ABORDAGENS

Nas últimas décadas, o setor industrial vem sofrendo profundas modificações, ao passar por uma completa reestruturação produtiva, através de inovações técnicas, operacionais e mercadológicas. Os setores de produção, recursos, comunicação e processo de fabricação acenderam a um novo padrão produtivo, no qual, a inovação e o *design* apresentam papel fundamental na competitividade industrial. A inovação tornou-se o ingrediente vital para o sucesso de uma empresa, ao impulsionar importantes modificações no processo de projeto (NAVEIRO & GOUVINHAS, 2010).

A economia de livre mercado apresenta uma dinâmica baseada na competição entre empresas, ao incentivar a superação de marcas consagradas no mercado. Neste sentido, as empresas precisam introduzir continuamente novos produtos, a fim de impedir que os competidores mais agressivos controlem expressivamente boa parcela dos negócios. Devido aos lançamentos de produtos globalizados e de políticas internacionais para abertura dos mercados, aumentaram significativamente as pressões competitivas advindas do exterior. Este fenômeno não é ocasionado apenas por empresas multinacionais, mas também por contratos internacionais de liderança, e por franquias, que espalham rapidamente novos produtos através de redes de pequenas e médias empresas. Para dinamizar a produção de inovações, observa-se a tática gerencial baseada no encurtamento da vida útil do produto, tendo em vista a introdução rápida de novas versões no mercado. Esta prática foi inicialmente adotada pelos japoneses, e copiada posteriormente nos países ocidentais. Como resultado, todos os competidores devem esforçar-se para a produção e o desenvolvimento mais rápido (BAXTER, 2011).

Observa-se, a partir dos anos 80, o empenho das empresas para implantar estratégias de produção e redução de custos. Estes esforços somados às práticas de melhoria de qualidade ajudaram a conferir competitividade aos novos produtos. Os programas de qualidade

extrapolaram as empresas e envolveram seus fornecedores, que passaram a operar dentro dos princípios de racionalização e melhoria contínua da qualidade (NAVEIRO & GOUVINHAS, 2010).

Atualmente, verifica-se a demanda por produtos diversificados com menor escala produtiva. No qual, o tempo de lançamento ser tornou crucial para o sucesso nas vendas. Assim, a capacidade de responder rapidamente a expectativas dos consumidores, agregando continuamente valores a novas versões se tornou objetivo fundamental.

De acordo com Ulrich & Eppinger (2012), genericamente, os produtos (Tabela 2) podem ser categorizados em sete variantes como explicitados:

1. *Produtos genéricos*: Correspondem aos produtos que advêm de necessidades específicas humanas, as quais são identificadas e materializadas. Nessa categoria está inserida a maior parcela de produtos do mercado, como ferramentas e utilidades;
2. *Produtos impulsionados pela tecnologia*: São produtos que incorporam tecnologia em sua constituição, ao proporcionar o aperfeiçoamento de artigos já existentes ou o surgimento de novos produtos. Neste caso, a tecnologia está diretamente relacionada ao desenvolvimento e impulsiona o lançamento de novas categorias no mercado;
3. *Produtos de plataforma*: Através do conhecimento prévio de uma base tecnológica já existente, são produzidos diversos produtos com o intuito de facilitar e simplificar a produção. Esta categoria auxilia na redução dos custos de produção, ao dividi-los entre os variados artigos produzidos: eletrônicos, impressoras e computadores;
4. *Produtos de processo intensivo*: São produtos produzidos em grandes linhas de produção, em enormes volumes e quantidades. Como exemplo: os químicos e alimentícios;
5. *Produtos personalizados*: São aqueles que possuem algumas modificações em relação à configuração padrão, para o atendimento de demandas específicas e para maior satisfação dos clientes: automóveis com acessórios, motores, roupas, entre outros;
6. *Produtos de alto risco*: São produtos que apresentam altos índices de incerteza em relação à aceitação no mercado, necessitando diversas pesquisas para análise de repercussão futura, testes em protótipos funcionais, validações, entre outros. Os exemplos nesta categoria são os produtos farmacêuticos e sistemas espaciais;
7. *Produtos de rápida elaboração*: Devido à elaboração de versões anteriores e o domínio técnico, são produtos desenvolvidos em “processos espirais” como softwares;

8. *Sistemas Complexos*: Produtos compostos de diversas peças e componentes de grande complexidade, que exigem o trabalho de múltiplas equipes para seu desenvolvimento.

Exemplo: aeronaves, máquinas e veículos (ULRICH & EPPINGER, 2012).

Tabela 2 - Exemplos e características dos tipos de produto

TIPOS DE PRODUTO	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS	EXEMPLOS
Produtos genéricos	A equipe procura satisfazer as necessidades dos clientes e observa as oportunidades do mercado.	No processo são inclusos planejamento, desenvolvimento de conceito, projeto, protótipos e produção piloto.	Móveis, Ferramentas, Utilidades (produtos em geral).
Produtos impulsionados pela tecnologia	A equipe desenvolve uma nova tecnologia e o produto é inserido em um novo mercado.	Inclusão de planejamento estratégico, pesquisa da nova tecnologia.	Tecidos Tecnológicos, como: Casacos Tyvek.
Produtos de plataforma	A equipe utiliza o conhecimento tecnológico anterior.	O desenvolvimento do conceito assume uma plataforma já aprovada.	Artigos eletrônicos como as gerações de Ipods e Tablets.
Produtos de Processo intensivo	A equipe restringe o produto para facilitar o processo de produção.	Processo produtivo e produto são pensados em conjunto para maior dinamismo na produção	Produtos alimentícios, refrigerantes, químicos, semicondutores.
Produtos personalizados	A equipe projeta variações de configurações.	Produto busca o atendimento da demanda específica do cliente.	Automóveis, motores, roupas especiais.
Produtos de alto risco	Alta incerteza técnica e de mercado.	Processo de desenvolvimento busca rastrear e eliminar erros, realização de diversas análises.	Produtos farmacêuticos, sistemas espaciais.
Produtos de rápida elaboração	Equipe utiliza rápidas modelagens e prototipagens.	Ênfase na fase de projeto.	Software, telefones celulares.
Sistemas complexos	Equipes decompõem os sistemas em vários subsistemas e componentes.	Os subsistemas são desenvolvidos por diversas equipes paralelas de trabalho, seguindo a integração e validação do projeto.	Aviões, máquinas complexas, veículos.

Fonte: Adaptado de ULRICH & EPPINGER (2012)

2.1.1 Modalidades de inovações

De acordo com Pahl *et al.* (2005), em geral, as inovações são classificadas segundo o grau de originalidade, e podem ser radicais ou incrementais. As inovações radicais envolvem significativas modificações no projeto do produto, ao criar nova categoria ou família de produtos. Assim, são incorporadas novas tecnologias, materiais e processos de fabricação diferenciados, com o intuito de modificar expressivamente a inserção do produto no mercado. Tais inovações são eventos descontínuos e irregulares, que procuram solucionar novos problemas e incorporar novas tarefas. Em muitos casos, são resultados de pesquisas avançadas em universidades, institutos autorizados e pela própria empresa (PAHL *et al.*, 2005).

Já as inovações incrementais envolvem projetos para a criação de híbridos com pequenas modificações, principalmente, visando à melhoria da qualidade, redução de custos, aumento da eficácia técnica e incorporação de novas funções nas versões subsequentes. Geralmente, é fabricada sobre uma mesma plataforma, variando o arranjo dos componentes. Este tipo de inovação é típico em séries construtivas e sistemas modulares (PAHL *et al.*, 2005)

O processo de inovação incorpora diversas fontes de conhecimento que costumam ser adquiridos pela observação dos concorrentes, fornecedores e clientes, além de pesquisas tecnológicas em laboratórios e feiras industriais (NAVEIRO & GOUVINHAS, 2010).

Atualmente, o Brasil busca investir recursos e incentivos governamentais para estimular a inovação no país. Isto ocorre, sobretudo, por meio da Lei de Inovação (Lei nº 10.973 de 2/ 12/ 2004), que visa à formação de parcerias estratégicas entre instituições federais e empresas privadas. Isto possibilita a transferência de tecnologias geradas em instituições públicas para o setor privado.

2.1.2 Ciclo de vida do produto

O ciclo de vida de um produto varia muito em função de suas especificações e finalidades. Atualmente, observa-se uma constante redução deste tempo, tendência que deverá se manter. Isto possui influência significativa nos setores de projeto, uma vez que, os prazos para o desenvolvimento da nova tecnologia também se reduz. Assim, são de grande importância às tomadas de decisões referentes à montagem do processo e os métodos. O

monitoramento e o controle são tarefas essenciais que estão diretamente relacionadas à observação da fase de saturação do produto, onde é necessária a implantação de medidas para a revitalização ou substituição de versões desatualizadas (PAHL *et al.*, 2005; SLACK *et al.*, 2009; CORRÊA *et al.*, 2012).


Após um produto ser introduzido no mercado, caso haja sucesso em suas vendas, esse permanece em um patamar de vendas satisfatório por algum tempo, declinando gradualmente até que ocorra sua retirada do mercado (Tabela 3). O ciclo de vida de um produto está baseado em quatro fases distintas: introdução no mercado, crescimento, maturação e declínio (SLACK *et al.*, 2009; CORRÊA *et al.*, 2012).

Verifica-se também a necessidade em associar o ciclo de vida com os conceitos de reuso e desmanche, para abordagem sustentável, destinada a preservação ambiental. Neste contexto, o desenvolvimento de produtos deve aspirar à elaboração de projeto de manufaturas que tenham um ciclo de vida circular ou fechado e eliminar ao máximo o lançamento de manufaturas de ciclo linear (ADDIS, 2010). Isto conforme observado nos itens a seguir:

1. *Introdução no mercado:* Período no qual o produto é lançado no mercado. Consiste em uma fase de experimentação para avaliação dos consumidores, o produto está sujeito a eventuais modificações e aperfeiçoamentos, para atender melhor as necessidades dos clientes. Nesta fase pode ocorrer estágio de vendas baixas e a empresa obtém lucros baixos, devido ao grande investimento inicial no lançamento;
2. *Crescimento:* Caso o produto obtenha resultados satisfatórios no mercado, esse aumenta rapidamente crescimento de vendas. Portanto, a fase de crescimento corresponde à consolidação do produto no mercado, na qual, deve haver produção que acompanhe a demanda e faça frente aos concorrentes;
3. *Maturidade:* Estágio de desaceleração das taxas do crescimento. A demanda se estabiliza devido à consolidação do produto, as vendas tendem a manter em níveis constantes, que garante a empresa lucratividade e participação no mercado. Porém, inicia-se o aumento da concorrência;
4. *Declínio:* Devido à concorrência e o surgimento de tecnologias mais atuais, a empresa sofre pressão no mercado, sendo necessária revisão e aprimoramento tecnológico do produto para satisfação da demanda. Inicia-se uma fase de baixa lucratividade, e

ocorre à necessidade de adaptações incrementais e reformulações no produto (SLACK *et al.*, 2009; CORRÊA *et al.*, 2012).

Tabela 3 - Efeitos do ciclo vida do produto



(Curva de Crescimento em Vermelho)	INTRODUÇÃO NO MERCADO	CRESCIMENTO E ACEITAÇÃO	MATURIDADE DE VENDAS	DECLÍNIO SATURAÇÃO
CONSUMIDORES	Inovadores	Consumidores Pioneiros	Grande Fatia do Mercado	Retardatários
CONCORRENTES	Poucos / Nenhum	Número Crescente	Número Estável	Número em Declínio
PROVÁVEIS PEDIDOS	Especificação	Disponibilidade	Preço Baixo Fornecimento Confiável	Preço Baixo
PROVÁVEIS QUALIFICADORES	Qualidade Gama	Preço Gama	Gama Qualidade	Fornecimento Confiável
PRINCIPAIS OBJETIVOS DAS OPERAÇÕES	Flexibilidade Qualidade	Velocidade Confiabilidade Qualidade	Custo Confiabilidade	Custo

Fonte: (SLACK *et al.*, 2009)

2.2 METODOLOGIAS PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) pode ser definido por um conjunto de atividades que buscam conciliar as necessidades do mercado, as restrições tecnológicas existentes e as estratégias comerciais das empresas, para a criação e aprimoramento de novos produtos (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O PDP apresenta-se como uma atividade de grande complexidade que necessita da integração entre equipes multidisciplinares. Este caráter multidisciplinar auxilia na produção de projeto completo, que agrega diversas áreas de conhecimento. O processo exige um esforço significativo para o gerenciamento das informações. Verifica-se também no PDP, a elaboração de projetos incrementais para incorporação de pequenas modificações a um artefato já existente. Essas pequenas inovações, reunidas em um determinado tempo, transformam radicalmente o produto inicial (BORGES, 2004).

Conforme Rozenfeld & Amaral (2001), o desenvolvimento de produto origina-se em diferentes áreas do conhecimento. As práticas mais relevantes foram elencadas e aqui apresentadas:

1. ESTUDOS DE HARVARD: Pesquisas realizadas a partir dos anos 80, relacionadas à gestão de produtos e manufatura enxuta. Estes trabalhos tornaram-se clássicos e comumente referenciados, apresentando alguns autores como: Kim B. Clark, Takattiro Fujimoto, Steven C. Wheelwright, James P. Womack e Daniel T. Jones. Geralmente, estas abordagens são divididas em três grandes etapas:
 1. *Estratégia de Desenvolvimento*: que consiste no planejamento geral e gestão do portfólio da empresa.
 2. *Gerenciamento do Projeto Específico*: abordagem que consiste nos tipos de interação entre as atividades e todos os assuntos referentes ao projeto.
 3. *Aprendizagem*: estratégias para organizar o conhecimento apreendido e as experiências anteriores.
2. DON CLAUSING: Trabalhou uma abordagem chamada *Total Quality Development*, dando grande enfoque nas práticas relativas ao desdobramento da função qualidade (QFD). Sua contribuição divide o processo de projeto nos grupos: Conceito / metodologia QFD, Design e Preparação pra produção.
3. PRASAD: Propõem uma abordagem diferente para engenharia simultânea, ao dividir o conceito em dois grupos: Organização do produto e processo, e Desenvolvimento integrado. O primeiro define os fator de complexidade ao longo do processo e os fatores organizacionais. O segundo apresenta de maneira flexível às possibilidades de integração ao longo do projeto (ROZENFELD & AMARAL, 2001).

De acordo com Ulmann (1995), *apud*. Borges (2004), diversos são os tipos de projeto participantes do PDP, sendo alguns:

1. *Projeto incremental*: Propõem modificações de componentes ou de partes do produto, sem alterar o conceito original. É um projeto estruturado, pois possui estudos anteriormente realizados e estratégias específicas de inovação;
2. *Projeto complexo ou intensivo*: Projetos de grande porte que envolve diversos profissionais e equipes multidisciplinares, apresentando a necessidade de

gerenciamento integrado na busca de soluções projetuais, como exemplo: o modelo 777 da Boeing;

3. *Projeto criativo*: Projeto com pouca estruturação, que se limita a solução de problemas tecnologicamente simples;
4. *Projeto por seleção*: Está pautado na escolha e reunião de itens de catálogo para sua estruturação. A princípio, apresenta-se como uma tarefa simples, porém sua complexidade é aumentada, quando a escolha dos itens envolvem diversos parâmetros e critérios de seleção;
5. *Projeto por configuração*: Semelhante ao item anterior, porém se diferencia ao incorporar componentes já projetados. Neste caso, o projeto busca organizar os componentes de forma compatível com os atributos desejados para o produto final. Um exemplo típico é o computador PC, que possui suas peças disponibilizadas a comercialização no mercado, podendo ser rearranjadas em diversas configurações para melhor desempenho;
6. *Projeto paramétrico*: Consiste na definição de valores previamente selecionados, os parâmetros, para a formulação do produto. Com exemplo temos a determinação de diâmetro através do conhecimento prévio da altura e do volume total.

2.2.1 Desenvolvimento de produto sequencial ou tradicional

A partir da segunda metade do século XX, ocorreram grandes modificações no sistema produtivo industrial. Tais modificações buscavam reduzir custos, aumentar a confiabilidade e implantar um novo sistema de produção em massa, similar aos conceitos de Henry Ford. Buscou-se a utilização de princípios relacionados à administração científica, para a divisão de tarefas de forma eficiente e melhor estruturação das organizações. Este impulso resultou na criação da chamada Engenharia Tradicional ou Desenvolvimento de Produto Sequencial. No Desenvolvimento de Produto Sequencial as informações sobre o produto possuíam uma ordem linear lógica, onde sequencialmente, cada área funcional encaminhava o projeto para a área subsequente – primeiro Marketing, Design, Engenharia, Manufatura, etc. As tarefas eram atribuídas e divididas a um número exagerado de áreas excessivamente especializadas, nas

quais, essas deveriam ser executadas para o prosseguimento do projeto. Portanto, isto gerava carência de integração para atividades simultâneas (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Segundo Slack *et al.* (2009), o desenvolvimento sequencial de produtos também pode apresentar algumas vantagens gerenciais, ao facilitar o controle. Isto ocorre devido ao início de cada etapa ser após o término da anterior. Logo, é possível limitar o número de tarefas. Para o autor, o grande problema da abordagem sequencial está no tempo gasto, pois qualquer dificuldade ao longo do processo pode interromper a sequência dos trabalhos.

2.2.2 Desenvolvimento integrado de produto

O desenvolvimento integrado de produto apresenta seus conceitos relacionados à simultaneidade do processo, a integração de diferentes equipes de trabalho e a produção aliada constantemente ao controle e revisão (ROZENFELD *et al.*, 2006; SLACK *et al.*; 2009; ROMEIRO FILHO *et al.*, 2010; CORRÊA *et al.*, 2012).

Ressalta-se que em diversas metodologias, é comum haver maturidade das fases para o prosseguimento do processo. Isto é, para evitar futuras correções, o projeto é checado e revisado várias vezes, e somente liberado para fase posterior, após estar suficientemente definido. Observa-se também, que alguns modelos de PDP estão restringidos ao processo técnico de projeto, enquanto outros apresentam uma abordagem de planejamento de negócios associado ao processo. É importante destacar que as fases propostas pelos diferentes autores costumam não apresentar limites claros, embora tenham objetivos específicos (CODINHOTO, 2003).

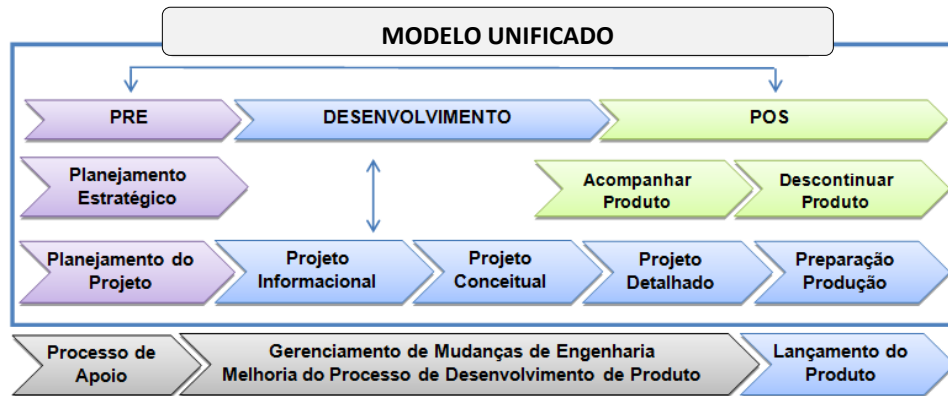
Nos subitens a seguir são exibidos dois métodos que abortam os conceitos do desenvolvimento integrado em suas fases e processos.

2.2.2.1 Modelo unificado (ROZENFELD *et al.*, 2006)

O modelo unificado proposto por Rozenfeld *et al.* (2006) foi concebido por uma rede de pesquisadores brasileiros. Esse modelo procurou reunir as melhores práticas de gestão para proposição de um processo completo, dividido em três fases: Pré-Desenvolvimento; Desenvolvimento de Produtos; e Pós-Desenvolvimento (Figura 1).

Na primeira fase são realizadas análises para viabilizar o empreendimento; na segunda fase são feitos os projetos e a fabricação do produto; já na terceira fase, ocorre o acompanhamento do produto no mercado.

Figura 1 - Modelo unificado



Fonte: Adaptado de ROZENFELD *et al.* (2006)

Durante todo o processo, são realizadas atividades genéricas de controle e validação, os chamados “*Gates*” - para que ocorra a mudança de uma etapa para outra (Figura 1), além do “*monitoramento da viabilidade econômica e financeira*” e a realização da “*documentação das decisões tomadas e as lições apreendidas*” (Tabela 4).

Tabela 4 - Fases do modelo unificado proposto por ROZENFELD *et al.* (2006)

PRÉ-DESENVOLVIMENTO	
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO	Definir e revisar escopo do Plano Estratégico de Negócios; Consolidar informações sobre tecnologia e mercado; Analisar o portfólio da empresa; Propor mudanças no portfólio; Verificar viabilidade de novos produtos.
PLANEJAMENTO DO PROJETO	Definir interessados no projeto; Definir escopo do produto; definir e detalhar escopo dos processos; Definir atividades e sequências; Preparar Cronograma; Preparar orçamento; Analisar viabilidade econômica; Definir indicadores de desempenho; Definir plano de comunicação; Planejar aquisições e riscos.
DESENVOLVIMENTO	
PROJETO INFORMACIONAL	Revisar e atualizar escopo do produto; Detalhar ciclo de vida do produto; Compreender perfil e os requisitos dos clientes; Definir requisitos do produto; Especificações de metas a ser atingidas; Analisar viabilidade econômica e Documentar decisões.
PROJETO CONCEITUAL	Modelar funcionalmente o produto; Desenvolver principais soluções para o produto; Definir forma; Analisar os componentes e subsistemas; Definir ergonomia e estética; Definir fornecedores e parcerias; Selecionar a concepção do produto; Definir plano macro de processo; Analisar viabilidade econômica e Documentar decisões.

Continua

Continuação	
PROJETO DETALHADO	Calcular e desenhar os sistemas, subsistemas e componentes (SSCs); Reutilizar e condicionar os SSCs; Especificar tolerâncias; Integrar os SSCs; Finalizar desenhos; Configurar e completar a estrutura do produto; Decidir fazer ou comprar os SSCs; Desenvolver fornecedores; Planejar fabricação e montagem; Otimizar produto e processo; Criar material suporte; Projetar embalagem; Planejar fim de vida útil; Testar e homologar o produto; Analisar viabilidade econômica e Documentar decisões.
PREPARAÇÃO PARA PRODUÇÃO	Obter recursos de fabricação; Planejar produção Piloto; Produzir lote piloto; Homologar o processo; Otimizar produção; Certificar produto; Desenvolver processo de produção; Desenvolver processo de manutenção; Ensinar pessoal; Analisar viabilidade econômica e Documentar decisões.
LANÇAMENTO	Planejar lançamento; Desenvolver processo de vendas e distribuição; Desenvolver atendimento ao cliente; Implantar assistência técnica; Promover marketing; Lançar e gerenciar o produto; Atualizar plano de fim de vida; Analisar viabilidade econômica e Documentação.
PÓS-DESENVOLVIMENTO	
ACOMPANHAR PRODUTO E PROCESSO	Avaliar satisfação do cliente; Monitorar desempenho do produto; Realizar auditoria pós-projeto; Registrar lições aprendidas.
DESCONTINUAR O PRODUTO	Analisar e aprovar a descontinuidade do produto; preparar o recebimento do produto; Descontinuar a produção; Finalizar suporte; Avaliação geral de encerramento do produto.

Fonte: Adaptado de ROZENFELD *et al.* (2006)

2.2.2.2 Modelo estruturado (ULRICH & EPPINGER, 2012)

Ulrich & Eppinger (2012) desenvolveram uma metodologia de caráter interdisciplinar, onde o modelo principal para desenvolvimento de produtos possui as seguintes etapas: Planejamento; Desenvolvimento do Conceito; Projeto dos Sistemas; Projeto Detalhado; Refinamento e Início da Produção. Nesta abordagem, os autores propõem o desenvolvimento das tarefas em quatro áreas de conhecimento: Marketing, Design, Manufatura e Custos, como demonstrados na Tabela 5 a seguir:

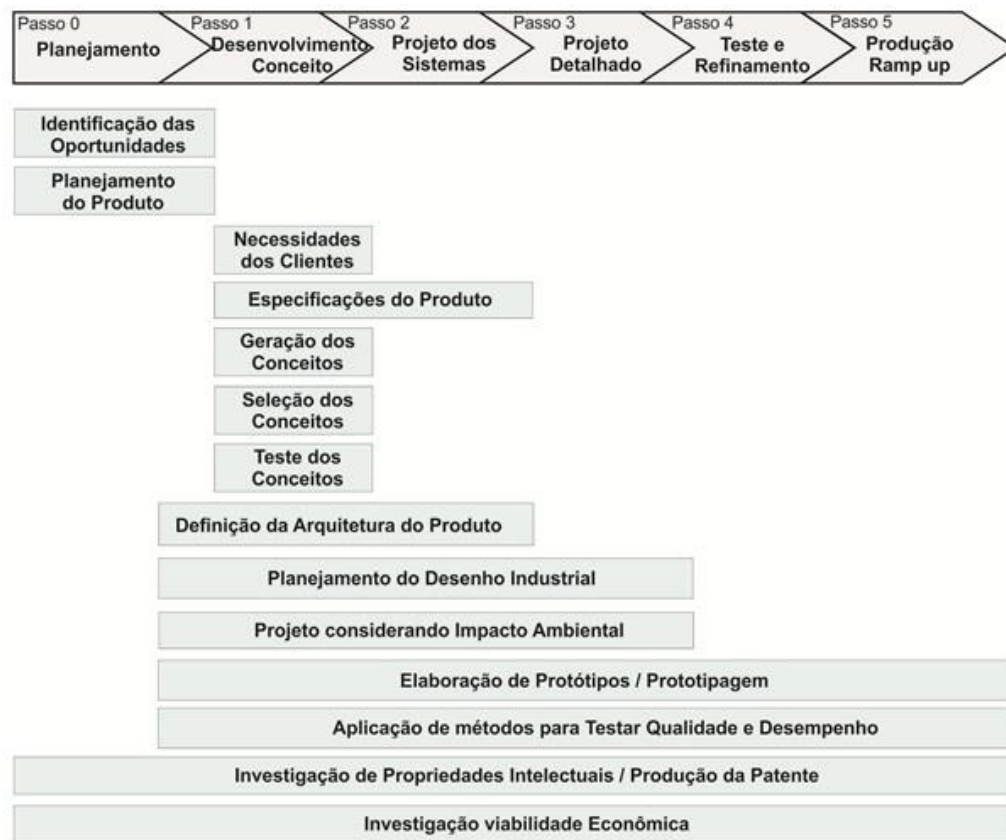
Tabela 5 - Modelo de PDP proposto por ULRICH & EPPINGER (2012)

Planejamento	Desen. do Conceito	Projeto dos sistemas	Projeto Detalhado	Teste e Refinamento	Iniciar Produção
Marketing					
Oportunidades do mercado. Definir seguimento do mercado.	Entender o quê os clientes precisam. Identificar características do produto.	Desenvolver plano de produção. Desenvolver Produto de Plataforma.	Realizar o Plano de marketing master.	Realizar estratégias para o lançamento. Facilitar o teste.	Testar o produto com clientes chave.
Design					
Considerar a plataforma de produto e arquitetura. Pesquisar novas tecnologias.	Desenvol. de conceitos iniciais. Conceitos de design industrial. Construir e testar protótipos dos conceitos.	Desenvolver arquitetura do produto. Definir componentes /Subsistemas – engenharia.	Definir parte da geometria. Escolher materiais. Controlar processo.	Testar desempenho. Obter aprovações regulatórias. Estudo de impacto ambiental. Programar mudanças.	Avaliar os resultados da produção antecipada.
Manufatura					
Identificar restrições de produção. Definir estratégias da cadeia de suprimento.	Estipular custo de produção. Avaliar a viabilidade de produção.	Identificar os fornecedores. Definir esquema de montagem final.	Definir produção das peças. Definir a garantia. Aquisição de peças mestres.	Facilitar os fornecedores. Refinar processos de fabricação. Assegurar qualidade de fabricação.	Iniciar a produção.
Custos					
Gereciamento e alocação de recursos. Planejamento de custos.	Investigação de patentes. Analisar viabilidade econômica.	Identificar serviços e insumos. Viabilizar compras.	-	Desenvolver plano de vendas.	Gerenciar pós venda.

Fonte: Adaptado de ULRICH & EPPINGER *et al.* (2012)

Na Figura 2 é possível observar as etapas sequenciadas do processo e as principais tarefas associadas.

Figura 2 - Principais fases do PDP (ULRICH & EPPINGER, 2012)



Fonte: Adaptado de ULRICH & EPPINGER (2012)

Um dos aspectos importantes da metodologia está na etapa de seleção das alternativas geradas. Na fase de desenvolvimento do conceito é utilizada uma matriz de decisão, onde as soluções e oportunidades encontradas são ranqueadas e comparadas, em relação a um conceito de referência ou um produto padrão já existente na indústria.

Cada solução é apreciada e avaliada dentro de parâmetros pré-estabelecidos, que são comparados em relação à referência como iguais, melhores ou piores. Ao final, é realizado um somatório das comparações realizadas (ULRICH & EPPINGER, 2012).

A Tabela 6 apresenta um exemplo da matriz de decisão, descrita pelos autores como um peneiramento inicial. No caso exemplificado, foram apresentadas alternativas para o desenvolvimento de seringas reutilizáveis para aplicações de insulina, a pedido de empresa farmacêutica. A empresa procurava produzir produtos de fácil aplicação e de reutilização. Deste modo, diversos conceitos foram elaborados e comparados nas hipóteses de A a G na matriz a seguir.

Tabela 6 - Matriz de avaliação e seleção de conceitos

CRITERIOS DE SELEÇÃO	CONCEITOS						
	A	B	C	D	E	F	G
Facilidades de Manuseio	0	0	-	0	0	-	-
Facilidade de Uso	0	-	-	0	0	+	0
Ajustes das Doses	0	0	+	0	+	0	+
Presição das Dosagens	0	0	0	0	-	0	0
Durabilidade	0	0	0	0	0	+	0
Facilidade de Fabricação	+	-	-	0	0	-	0
Portabilidade	+	+	0	0	+	0	0
Somatório +	2	1	1	0	2	2	1
Somatório 0	5	4	3	7	4	3	5
Somatório -	0	2	3	0	1	2	1
Pontuação	2	-1	-2	0	1	0	0
RANK	1	6	7	3	2	3	3
CONTINUA?	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: Adaptado de ULRICH & EPPINGER (2012)

Como o peneiramento inicial pode não ser conclusivo, os autores propoem o refinamento da matriz com a aplicação de pesos aos conceitos que foram aprovados e que, posteriormente, deveram ser revisados ou combinados, conforme Tabela 7 e 8.

Tabela 7 - Desempenho e pontuação

DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
Muito pior que a referência	1
Pior que a referência	2
Igual à referência	3
Melhor que a referência	4
Muito melhor que a referência	5

Fonte: Adaptado de ULRICH & EPPINGER (2012)

Tabela 8 - Refinamento da matriz de avaliação e seleção de conceitos

	CONCEITOS								
CRITERIOS DE SELEÇÃO	Peso	A		DF		E		G	
		Pont.	Mult.	Pont.	Mult.	Pont.	Mult.	Pont.	Mult.
Facilidades de Manuseio	5%	3	0.15	3	0.15	4	0.2	4	0.2
Facilidade de Uso	15%	3	0.45	4	0.6	4	0.6	3	0.45
Ajustes das Doses	10%	2	0.2	3	0.3	5	0.5	5	0.5
Presição das Dosagens	25%	3	0.75	3	0.75	2	0.5	3	0.75
Durabilidade	15%	2	0.3	5	0.75	4	0.6	3	0.45
Fabricação	20%	3	0.6	3	0.6	2	0.4	2	0.4
Portabilidade	10%	3	0.3	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Pontuação	100%	2.75		3.45		3.10		3.05	
RANK	-	4		1		2		3	
CONTINUA?	-	NÃO		DESENVOLVER		NÃO		NÃO	

Fonte: Adaptado de ULRICH & EPPINGER (2012)

Como resultado da avaliação da matriz e do seu refinamento, observou-se que a melhor escolha seria combinar os conceitos D e F para o desenvolvimento de um produto mais adequado às necessidades do cliente principal.

Um aspecto fundamental a ser observado neste tipo de matriz de decisão, é que sua robustez, é consequência dos critérios de seleção que são estabelecidos pela equipe de projeto. Ressalta-se que estes critérios são provenientes em grande parte da tabela de necessidades, formulada no início do processo, mas também inclui tópicos como a facilidade de fabricação, que incorporam características internas da empresa e da própria necessidade de melhoria dos processos.

2.3 PROJETO DE PRODUTO PARA O MEIO AMBIENTE

Atualmente, existem diversas pressões sociais e normativas a cerca da responsabilidade ambiental dos fabricantes. Algumas empresas obtêm boas oportunidades de negócios ao incorporar em seus processos práticas relativas à proteção do meio ambiente e à responsabilidade social. Geralmente, estas práticas estão diretamente relacionadas à eficiência energética, ao uso adequado dos recursos naturais, reciclagem e reutilização de produtos (ROMEIRO FILHO *et al.*, 2010).

O conceito de *Eco-design* é voltado para a produção ecológica, ao assimilar questões relativas à sustentabilidade ao longo dos processos de fabricação. Para tanto, são abordados assuntos referentes à escolha do material, o local de extração, os processos de manufatura e o descarte final (SOUZA *et al.*, 2009).

Para a aplicação mais tangível da sustentabilidade durante a manufatura, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente sugeriu oito princípios básicos a serem observados, conforme apresentados por Brezet & Hemel (1997), *apud*. Souza *et al.*, 2009.

- *Princípio base*: Elaboração de pesquisas que contenham a descrição e as especificações do produto ecológico ou sustentável a ser desenvolvido. Definição de como o produto será fabricado e quais materiais serão utilizados;
- *1º Princípio*: Seleção de materiais que apresentem baixo impacto ambiental. Utilizar materiais reciclados ou recicláveis e materiais de baixo conteúdo energético. Quando menor a energia necessária para extração e transformação da matéria prima, mais sustentável esta é;
- *2º Princípio*: Evitar desperdícios de matéria prima e buscar eficiência na sua utilização. Buscar estratégias para facilitar o transporte e a estocagem dos produtos processados, utilizar princípios da produção enxuta (Lean Production);
- *3º Princípio*: Aperfeiçoar as técnicas de produção para adaptar as normas e especificações de processos ecologicamente corretos;
- *4º Princípio*: Aperfeiçoamento do sistema de distribuição ao consumidor final, utilizando transportes mais eficientes, rápidos e seguros;
- *5º Princípio*: Redução do impacto ambiental gerado pela utilização do produto. Existem produtos que provocam impactos negativos e danosos ao meio ambiente através do seu uso;
- *6º Princípio*: Estudo do ciclo de vida do produto, pensar em ciclos fechados;
- *7º Princípio*: Projeto do fim de vida útil do produto, pensando no descarte e nos impactos negativos que podem ser gerados ao meio ambiente.

Para Venzke (2002), os produtos que incorporam conceitos sustentáveis e ecológicos devem também contemplar em seus projetos, as diretrizes apresentadas abaixo:

1. *Recuperação de material*: Os materiais utilizados nos produtos ecológicos devem estar estrategicamente dispostos no produto, para facilitar a separação e desmontagem.

Matérias primas compostas são mais difíceis de recuperação e separação dos componentes originais;

2. *Projetos voltados à simplicidade:* Desenvolver produtos de formas simples, tais formas reduzem os custos de produção, racionalizam o uso do material e facilitam no processo da montagem e desmontagem;
3. *Recuperação e reutilização dos resíduos:* Adoção de tecnologias que possibilitem a reutilização dos resíduos e subprodutos da manufatura;
4. *Uso de energias renováveis:* Uma das diretrizes do desenvolvimento sustentável é a utilização de energia não poluentes na fabricação, como: a energia solar, eólica e hidroelétrica, para a substituição das energias providas de combustíveis fósseis;
5. *Produtos de maior durabilidade:* Produtos com maior vida útil são de grande contribuição para a redução de lixo produzido pelo descarte;
6. *Recuperação das embalagens:* Reaproveitamento das embalagens para redução de lixo produzido. Elaboração de produtos que possuam refil, neste caso, os fabricantes devem se preocupar com o destino das embalagens;
7. *Fabricação e utilização de produtos a base de água:* Fabricação de produtos a base água, que substituam produtos à base do petróleo, como: tintas e solventes.

2.3.1 Projeto para a reciclagem

A reciclagem é um assunto abordado por diversos tipos de indústria, possuindo processos específicos para cada tipo de material e componente. Portanto, é subdivida nos procedimentos de Pré-Processamento e Recondicionamento (PAHL *et al.*, 2005).

PRÉ-PROCESSAMENTO: O Pré-Processamento é definido por técnicas de preparação do material para novo processamento, esse é subdividido em três grupos:

1. *Compactar ou adensar:* Procedimento feito por prensagem dos resíduos;
2. *Fragmentar ou triturar:* Dividir os resíduos para facilitar o transporte;
3. *Separar:* Utiliza-se de técnicas para separar os tipos de resíduos do produto.

Segundo Pahl *et al* (2005), os projetos que consideram a compactação, fragmentação e trituração devem observar os quesitos abaixo:

1. *Contabilidade entre materiais*: Buscar materiais compatíveis, semelhantes, ou de mesmos compostos químicos e matérias-primas, para facilitar a trituração e posteriormente a compactação;
2. *Separação e desmontagem*: Quando não se produz com materiais semelhantes, os componentes do produto devem ser colocados em locais estratégicos e ter encaixes entre matérias-primas diferentes, para facilitar a desmontagem;
3. *Materiais de alta qualidade*: Posicionar e caracterizar de forma apropriada os materiais que possuem custo elevado para facilitar sua identificação;
4. *Materiais perigosos*: Identificar materiais e componentes que possuam riscos, para que sejam separados e descartados apropriadamente.

RECONDICIONAMENTO: Procedimento que visa o reaproveitamento dos produtos e de seus componentes. No condicionamento é realizada a desmontagem completa do produto, a lavagem das peças e componentes, a colocação de outras peças e a remontagem (PAHL *et al.*, 2005). A seguir, são apresentadas algumas recomendações contempladas nos projetos que orientados por essa prática.

1. *Limpeza fácil*: Garantir Limpeza fácil para todos os componentes reaproveitados, isto evita possíveis estragos;
2. *Facilitar o retrabalho*: Desenvolver sistemas de encaixe e desencaixe para o acréscimo fácil de componentes e matérias adjacentes;
3. *Tornar a remontagem de fácil excussão*: Preocupação em projetar peças que possam ser substituídas e unidas novamente com facilidade. Opção por ligações mecânicas, ao invés de ligações químicas.

2.3.2 Certificação ambiental

Para a certificação ambiental de um produto é necessária uma análise complexa de toda a cadeia de produção. No Brasil, a rotulagem ambiental é voluntária, ou seja, as empresas que desenvolvem produtos sustentáveis se dispõem a serem auditadas e certificadas, já que o certificado garante um diferencial no mercado e serve de instrumento de marketing empresarial (ARAÚJO, 2009).

Atualmente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) restabeleceu o programa Selo Verde que atesta os produtos e serviços sustentáveis, através da certificação RÓTULO ECOLÓGICO ABNT. A ação da ABNT consiste em uma metodologia que

pretende avaliar critérios específicos. Seu documento de avaliação foi baseado nos rótulos da *Global Ecolabelling Network* (GEN), entidade internacional que promove rotulagem do Tipo I para produtos sustentáveis (ABNT, 2012). O rótulo ecológico certifica o produto que gera menor impacto ambiental e promove a empresa no mercado, proporcionando melhores oportunidades de exportação.

Outra certificação muito significativa no Brasil é o selo PROCEL de eficiência energética para eletrodomésticos e eletrônicos. Este selo foi instituído por Decreto Presidencial em 8 de dezembro de 1993, através de um programa governamental coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. O objetivo básico dessa rotulagem está em orientar os consumidores para compras de aparelhos que consomem menores níveis de energia elétrica (ELETROBRAS, 2013).

2.4 INSERÇÃO DOS CONCEITOS SUSTENTÁVEIS NO PDP

Para a inserção dos conceitos sustentáveis no PDP, é importante elencar as principais estratégias, de ambos os conceitos, para a realização simultânea das atividades. Barbosa Filho (2009) analisa o papel fundamental dos projetistas ao estarem inseridos na cadeia de interação entre os conceitos. Em análise genérica, é possível estabelecer dois grupos de direcionadores (Tabela 9), que devem ser contemplados ao longo do processo de projeto.

Grupo I – Direcionadores Ecológicos: Onde é realizada pesquisa a cerca de todas as variáveis ambientais que estarão no projeto.

Grupo II – Direcionadores Estratégicos: Onde efetua análise do processo de projeto do produto, para testes de avaliação e prototipagem.

Tabela 9 - Refinamento da matriz de avaliação e seleção de conceitos

GRUPO I: ECOLÓGICO	GRUPO II: ESTRATÉGICO
Pesquisa básica do produto ecológico e suas funções.	Análise detalhada do mercado.
Pesquisa sobre normatizações da tecnologia empreendida.	Avaliação da proposta de produto.
Estudo do ciclo de vida do produto.	Análise e mapeamento detalhado de tecnologias.
Estudo e inclusão de energia renovável.	Elaboração do escopo do produto.
Aperfeiçoamento de técnicas de produção.	Elaboração preliminar dos protótipos.
Redução de impactos do processo.	Elaboração preliminar do projeto de manufatura.
Pesquisa para garantir durabilidade do produto.	Revisão documental e testes do protótipo.
Continua	

Continuação	
GRUPO I: ECOLÓGICO	GRUPO II: ESTRATÉGICO
Pensamento orientado a reciclagem.	Validação preliminar.
Uso de materiais sustentáveis	Teste e validação do produto.
Busca de geometrias simplificadas.	Revisão do empreendimento.
Proposta de recuperação das embalagens.	Lançamento no mercado.

Fonte: Autora

Ressalta-se aqui, que os conceitos sustentáveis devem ser observados, sobretudo, nos processo de projeto e na manufatura. Neste sentido, para melhor exemplificação, a Figura 3 apresenta as possíveis interações relacionadas durante as tarefas do PDP, conforme descrito por Pahl *et al.* (2005).

Figura 3 - Inserção dos conceitos sustentáveis no PDP



Fonte: Adaptado de PAHL *et al.* (2005)

Portanto, observadas as considerações da tabela 9 e as informações da figura 3, é possível orientar o PDP para realização de abordagem mais sustentável.

2.5 EDIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL

De acordo com o MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2013), o Conselho Internacional da Construção reconhece o alto grau de impacto ambiental e consumo energético pelo setor da construção civil, devido à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Assim, diversas propostas já foram realizadas com o intuito de diminuir tais impactos, como: mudanças na concepção da edificação; uso racional da energia e da água; emprego de materiais ecológicos ou sustentáveis e destino adequado aos resíduos.

Verifica-se também, a grande importância dos governos municipais em torno da temática da construção sustentável. As prefeituras têm papel fundamental para o planejamento urbano das cidades e das edificações por meio de legislações urbanísticas específicas e código de obra. Além de programas educativos e incentivos financeiros a melhores práticas construtivas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013).

As edificações sustentáveis estão intimamente relacionadas à adequação da implantação, topografia e clima do local, na qual, o conforto ambiental, em todos os níveis, é peça chave. Os projetos devem contemplar soluções inteligentes para ventilação, iluminação, aquecimento, e utilizar as condições naturais. É importante destacar o uso de produtos eficientes como células fotovoltaicas, coletores solares, *brise-soleils* de sombreamento, mecanismos de captação de águas de chuva, entre outros. Em relação a áreas externas sugere-se a preservação dos ambientes e paisagens naturais. Além disto, tais edificações atendem as demandas dos usuários, e seus custos são cuidadosamente estudados (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013).

2.5.1 Conforto térmico e luminoso

O conforto térmico é definido pela satisfação ou insatisfação física do homem em relação ao meio ambiente. Um ambiente confortável possui neutralidade, não ocasionando sensações térmicas de frio ou calor. Logo, para analisar se um ambiente é confortável, é necessário observar o balanço energético entre o calor produzido pelo organismo e o calor perdido para o meio externo (FROTA & SCHIFFER, 2001; LAMBERTS *et al.*, 2011).

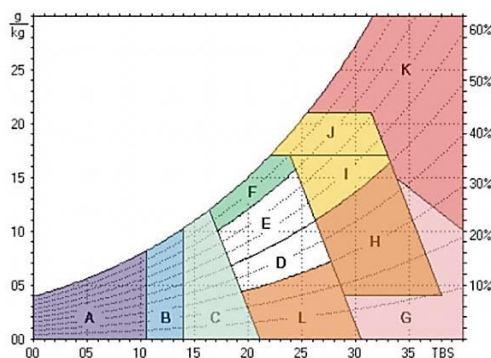
Destaca-se a existência de um nível ótimo para o fluxo de perda de calor. Este nível mantém a temperatura da pele próxima a 35°C, onde ocorre neutralidade térmica e consequentemente o conforto térmico. Portanto, é importante conhecer todas as fontes provenientes de calor, resultantes da radiação infravermelha dos materiais e da radiação solar (CORBELLA & YANNAS, 2009).

Os mecanismos de trocas térmicas entre o organismo e o ambiente envolvem os fenômenos de condução, convecção, radiação e evaporação. Esses fenômenos ocorrem devido à alternância de variáveis ambientais e humanas, que são determinantes para a caracterização do grau de conforto térmico. As variáveis ambientais estão relacionadas à temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa e velocidade do ar. Já as variáveis humanas caracterizam pelos processos metabólicos do corpo e pelas vestimentas do usuário de determinado ambiente (FROTA & SCHIFFER, 2001; LECHNER, 2009; LAMBERTS *et al.*, 2011).

Para a avaliação do ambiente é necessária a escolha de algum índice de conforto térmico, como carta bioclimática, temperatura efetiva, índice de conforto equatorial, entre outros. Essa escolha pode variar segundo o grau de importância dos aspectos ambientais pesquisados e das atividades desenvolvidas pelo indivíduo no ambiente. Constata-se a grande importância da correlação entre temperatura (eixo x da Figura 4) e umidade do ar (eixo y da Figura 4) para as análises térmicas (FROTA & SCHIFFER, 2001). Portanto, um índice muito utilizado na análise das proposições arquitetônicas é a carta bioclimática. A parte central deste gráfico se caracteriza como zona ótima, não sendo necessárias adaptações e soluções arquitetônicas diferenciadas para a sensação de conforto. Pontos marcados fora dessa região necessitam de correções (CORBELLA & YANNAS, 2009, LECHNER, 2009).

A Figura 4 representa uma carta adaptada da NBR 15220 (2003), onde é considerado:

Figura 4 - Carta bioclimática



Fonte: Adaptado da NBR 15.220 (2003)

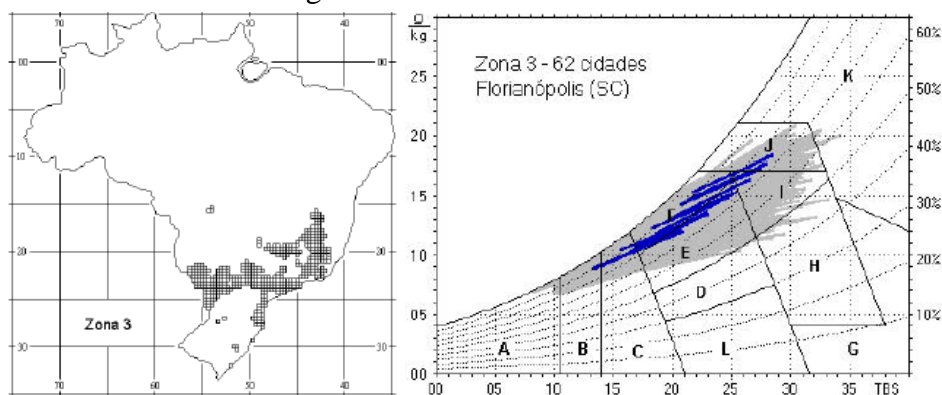
1. *Zona A*: Necessidade de aquecimento artificial. Pontos localizados aqui correspondem a locais extremamente frios, com temperaturas abaixo de 10,5C°, onde é insuficiente o aquecimento solar passivo. Logo, torna-se são utilizados aparelhos aquecedores e isolamento para evitar a perda de calor;
2. *Zona B*: Área de aquecimento solar passivo. Recomenda-se o posicionamento e a utilização de fachadas envidraçadas orientadas para o sol. Aberturas reduzidas e com isolamento, assim como paredes pintadas para ganhos térmicos;
3. *Zona C*: Massa térmica para aquecimento. Utilizar materiais e estruturas construtivas que colaborem para a inércia térmica do ambiente;
4. *Zona D e E*: Zonas ótimas, conforto térmico;
5. *Zona F, J e I*: Renovação do ar. Utilizar estratégias para ventilação, como ventilação cruzada e de cobertura, para refrigerar naturalmente o ar quente no interior do ambiente,
6. *Zona G, H e L*: Necessidade de umidificação e resfriamento evaporativo. A umidificação é recomendada em níveis de umidade relativa do ar abaixo de 20% e temperaturas de aproximadamente 27C°. Para isto, utilizam-se algumas soluções como vaporizadores de ar, aberturas herméticas, plantas de interior,
7. *Zona K*: Resfriamento artificial: A utilização de mecanismos artificiais como ar condicionado deve ser utilizada quando estratégias como ventilação e massa térmica para resfriamento não são suficientes para resfriar o ambiente. Geralmente, localidades que possuem altas temperaturas e índices de umidade relativa do ar são as ideais o uso do ar condicionado (NBR 15.220, 2003; LAMBERTS *et al.*, 2011).

Para Brown & Dekay (2007), uma boa maneira para elaborar uma carta, é registrar ao longo de um ano, as características de um dia médio de cada mês. Neste dia são anotadas as médias de temperatura e umidade pela manhã, tarde e noite. Após estas observações, são marcados pontos no gráfico, onde será possível delimitar e encontrar a zona bioclimática.

De acordo com a classificação da ABNT, registrada na NBR 15.220 (2003), o Brasil é dividido em oito zonas bioclimáticas típicas. A cidade de Juiz de Fora está situada na zona número 3, que engloba 62 cidades. Verifica-se que a zona 3 apresenta variações de temperatura e umidade médias, grafadas em azul, nas áreas F e E da carta (Figura 5). Portanto, para esta zona, as melhores soluções arquitetônicas são a aplicação de janelas médias para ventilação cruzada no verão, paredes internas mais espessas para inércia térmica,

e uma boa orientação para aquecimento solar no inverno, além de utilização de proteção ao norte.

Figura 5 - Zona bioclimática 3



Fonte: NBR 15220 (2003)

O conforto luminoso ocorre quando a intensidade luminosa presente no ambiente está adequada ao desenvolvimento das funções pretendidas. Assim, o projeto deve considerar os fluxos luminosos incididos sobre as superfícies do ambiente. É importante, o cuidado com abertura de portas e janelas para o recebimento de iluminação natural, uma vez que, os usuários do ambiente podem sentir o excesso de iluminação. Isto ocorre através de efeitos de ofuscamento e reflexão, ao comprometer a visibilidade adequada dos objetos. Outro ponto considerado é a carga térmica gerada dentro do compartimento, como mencionado anteriormente. Portanto, os efeitos desconfortantes luminosos e térmicos geram necessidade da adoção de proteções solares como beirais e brise-soleils, para impedir a entrada excessiva dos raios luminosos (CORBELLA & YANNAS, 2009).

O nível de iluminação ou iluminância é caracterizado pela relação entre o fluxo luminoso de uma fonte (quantidade de energia luminosa em lúmens), e a área quadrada atingida por essa (lumens/m²). Assim, a iluminância é dada na unidade lux, na qual a medição é realizada com luxímetro. Verifica-se que o nível de luz reduz com o aumento da distância entre a fonte luminosa e a superfície. Outro fator de influência é a lei do cosseno. Nesta lei é observado que o nível luminoso decresce com o aumento do cosseno formado entre o ângulo do raio de luz e a superfície atingida (CORBELLA & YANNAS, 2009).

Portanto, para que haja o conforto luminoso todas as fontes de luz disponíveis devem estar em harmonia para o controle adequado da intensidade luminosa. Destaque-se, que projetos de iluminação de qualidade devem atender a NBR 5413; buscam obstruir a entrada excessiva de radiação solar; proporcionam uniformidade do nível de luz nas superfícies; e evitam os fenômenos ofuscantes e reflexivos direito (CORBELLA & YANNAS, 2009).

2.5.2 Eficiência energética na edificação, o RTQ-C

No Brasil foram regulamentadas a Portaria do INMETRO nº 372 de 17 de setembro de 2010 e a Portaria nº 449 de 25 de novembro de 2010, que objetivam estabelecer requisitos mínimos de eficiência energética para prédios comerciais, de serviço, públicos e residenciais. Estas portarias aprovaram a aplicação dos manuais técnicos denominados RTQ-C e RTQ-R (2010), desenvolvidos em parceria entre o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE, UFSC), e entidades governamentais. Nestes manuais são encontrados métodos prescritivos e de simulação para a certificação ambiental em edificações, vinculada ao programa PROCEL EDIFICA. No trabalho dissertativo será utilizado o RTQ-C (2010) para simulação de uso do produto desenvolvido.

2.6 ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS DE PROTEÇÃO SOLAR

Os *brise-soleils* são utilizados para controlar os efeitos da radiação solar direta nas edificações, ao evitar a entrada excessiva de luz, brilho e calor. Desse modo, são utilizados para obter melhor controle luminoso e térmico, ao diminuir o ofuscamento dos raios solares e aumentar o sombreamento, favorecendo a redução de temperatura. Os *brise-soleils* colaboram para maior eficiência energética, pois auxiliam na diminuição da utilização de ar condicionado e outros equipamentos de arrefecimento. Possuem diversas tipologias em lâminas móveis ou fixas, horizontais, verticais, ou em tramas, e são muito utilizados em prédios comerciais e institucionais no Brasil (MEDEIROS, 2012).

Ao longo do século XX, o movimento modernista de arquitetura alavancou a utilização destes elementos, ao transformá-los em elementos estéticos evidenciados na composição arquitetônica. Tais *brise-soleils* eram feitos em concreto armado, material que os deixavam robustos e pesados, contrapondo com os leves planos de vidro que protegiam. Neste sentido, com o tempo muitos arquitetos abandonaram a utilização dessa proteção, para obter composições mais leves (CUNHA, 2011). Com o desenvolvimento tecnológico, atualmente, os *brise-soleils* podem ser feitos em alumínio, aço galvanizado, madeira, além de cobre, zinco-titânio e aço zincado, com formatos mais arrojados, conforme pesquisa no site da empresa de *Brise-Soleils* Sul Metais (SUL METAIS, 2013). Logo, as respostas tecnológicas

proporcionaram novas opções estéticas, que juntamente ao apelo por construções sustentáveis, impulsionaram novamente a grande utilização desses elementos.

2.6.1 Geometria e instrumentos de avaliação solar

A energia solar atinge constantemente a superfície terrestre. Esta radiação é composta por luz visível, raios infravermelhos e raios ultravioletas. Os raios infravermelhos são responsáveis pelo aquecimento superficial dos corpos e os ultravioletas responsáveis por reações físicas e químicas, o que provoca alterações nos seres vivos e eliminação de microrganismos. Para haver vida na terra, a radiação deve ser filtrada, ao passar pela camada atmosférica, por mecanismos de reflexão, absorção, difração, e difusão. A atmosfera deve apresentar-se espessa, para reduzir o fluxo energético excedente (BITTENCOURT, 2004).

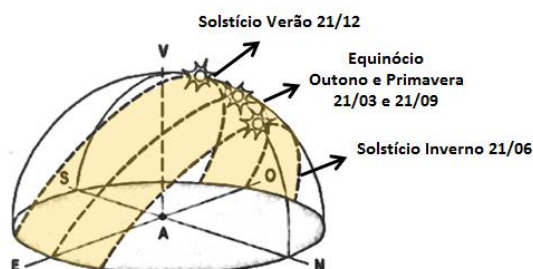
Em qualquer ponto na superfície terrestre é percebido o movimento aparente do sol em torno da terra. Esta falsa sensação decorre dos movimentos de rotação e translação, realizado pelo planeta em torno do sol. A rotação e a translação não são percebidas pelos observadores terrestres. Isto ocorre pelo efeito gravitacional que atrai os corpos para o centro da terra, colaborando para que esses estejam com a mesma velocidade constante do planeta (FROTA & SCHIFFER, 2001). Portanto, considera-se que o plano de trajetória aparente do sol possui inclinação constante, igual à latitude da localidade onde este movimento é observado (CORBELLA & YANNAS, 2009).

Para cada latitude, a abóboda celeste apresenta-se delimitada em uma região, onde ocorrem as trajetórias aparentes do sol durante o ano. Essa região possui como limite as trajetórias de solstícios de verão e inverno (21/06 e 21/12). Verifica-se que na parte central desta área ocorrem os equinócios de outono e primavera (21/03 e 21/09). Nos equinócios, o sol está situado na mesma posição e altura, porém em épocas diferente do ano (CORBELLA & YANNAS, 2009).

Pela Figura 6 é observado que as trajetórias próximas ao solstício de 21/12 são maiores, se comparadas às próximas ao solstício de 21/06. Assim, os dias no verão são mais longos que no inverno no hemisfério sul. Como a inclinação do plano do movimento aparente do sol é igual à latitude da localidade, a diferença de duração dos dias é mais percebida em latitudes mais afastadas a linha do equador. Portanto, nas regiões polares, o período diurno terá duração de 24 horas no verão, existindo noite somente no inverno. Já em localidades

próximas ou situadas na linha do equador, os períodos diurno e noturno terão a mesma duração de 12 horas, tanto no verão quanto no inverno (CORBELLA & YANNAS, 2009).

Figura 6 - Movimento aparente do sol

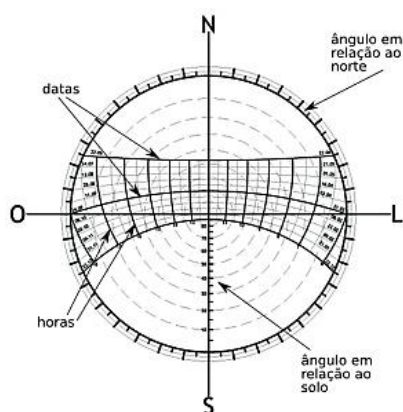


Fonte: Adaptado de CORBELLA & YANNAS (2009)

A posição do sol na abóboda celeste é determinada por dois ângulos: a altura solar (ângulo α) e o azimute (ângulo Y). A altura solar é o ângulo formado pelo raio solar e o plano horizontal da localidade. Já o azimute é a projeção horizontal do raio solar em relação ao norte geográfico, onde é medido no sentido horário, e com variação de 0° a 90° . Ambos os ângulos variam de acordo com a latitude (CORBELLA & YANNAS, 2009, LAMBERTS *et al.*, 2011).

A carta solar é uma projeção gráfica do plano de trajetória aparente do sol na abóboda celeste, durante um ano (Figura 7). Nessa, a linha superior mais próxima ao norte representa o solstício de inverno (21/06), e a linha curva próxima ao sul indica a trajetória no solstício de verão (21/12). Ao centro encontram-se a linha representante da trajetória do equinócio (21/03 e 21/09). Portanto, esta é uma ferramenta bastante útil de projeto, pois possibilita a verificação da posição exata do sol nos dias 21 de cada mês. Por meio de sua interpretação (BROWN & DEKAY, 2007).

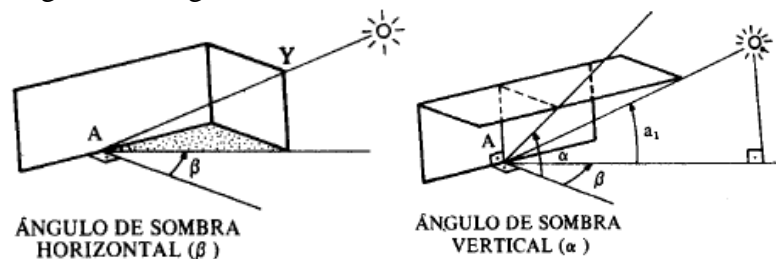
Figura 7 - Modelo de carta solar



Fonte: Disponível em <folhaazero.wordpress.com/2008/10/19/trabalhando-com-carta-solar/>. Acesso em setembro de 2013.

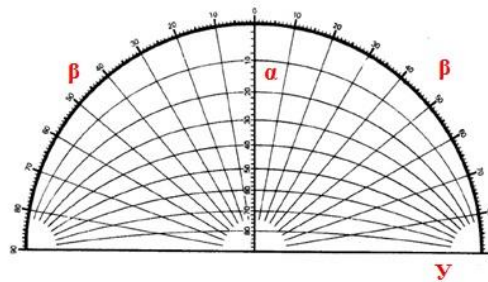
Para o projeto de *brise-soleils* utiliza-se a carta solar associada ao transferidor de ângulos, com o intuito de analisar a implantação da edificação, e representar graficamente a máscara de sombras formada pela proteção pretendida. Essa máscara é traçada pelos ângulos de sombra resultantes dos dispositivos colocados nas aberturas. Assim, os ângulos de sombra são medidos a partir de posições específicas do observador na abertura analisada, uma vez que, as proteções solares formam ângulos verticais (α) e horizontais (β) de sombreamento (Figura 8). Estes ângulos encontram-se marcados no transferidos solar (Figura 9) (FROTA & SCHIFFER, 2001).

Figura 8 - Ângulos verticais e horizontais de sombreamento



Fonte: Adaptado de FROTA & SCHIFFER (2001)

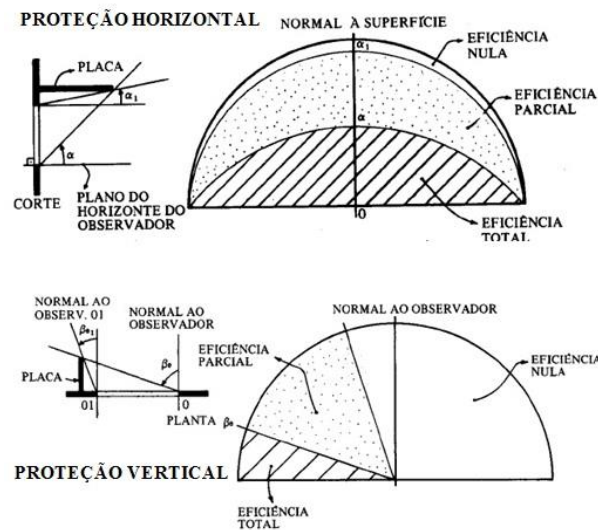
Figura 9 - Transferidor solar



Fonte: Adaptado de FROTA & SCHIFFER (2001)

Portanto, as máscaras de sombra são produzidas por proteções verticais, horizontais ou combinadas. Para exemplificação, a Figura 10 apresenta algumas máscaras, graficamente formadas por proteção vertical infinita e horizontal infinita respectivamente.

Figura 10 - Máscaras de sombreamento



Fonte: Adaptado de FROTA & SCHIFFER (2001)

2.6.2 Tipos de protetores solares

Para a utilização de um determinado tipo de *brise-soleil* é necessário avaliar a sombra gerada e o conforto proporcionado por essa obstrução. Geralmente, os *brise-soleils* são definidos por lâminas de uso externo a fachadas, que podem ser móveis ou fixos, existindo três tipologias básicas: Horizontais, Verticais e Combinados. Dos tipos básicos, é possível projetar diversos outros modelos adaptados à necessidade de sombreamento de cada edificação. Em relação à mobilidade, é possível encontrar lâminas móveis pivotantes ou basculantes, em sistemas manuais ou mecanizados. Esses são adaptados às necessidades dos usuários, que os controlam para maior ou menor insolação, proporcionando flexibilidade e eficiência. Os *brise-soleils* fixos são mais baratos e simples, por não precisarem de manutenção periódica, porém, são mais indicados para proteção de ângulos típicos da fachada norte (GUTIERREZ, 2004).

Abaixo é apresentada uma breve descrição das tipologias básicas:

Horizontais: São formados por placas horizontais (Figura 11) que garantem uma ótima proteção dos raios solares mais altos. Portanto, sua máscara de sombra é definida, exclusivamente, em função do ângulo α (altura solar) (LAMBERTS *et al.*, 2011). Caso sejam utilizados para barrar os raios solares mais baixos, é possível que haja o comprometimento da luminosidade e da ventilação natural. Possuem bons resultados se utilizados nas fachadas norte, noroeste e nordeste (MEDEIROS, 2012).

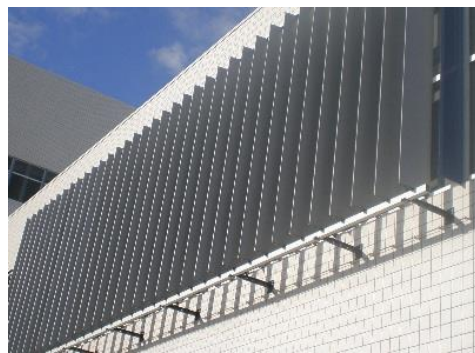
Figura 11 - Modelo de *brise-soleil* horizontal



Fonte: CERPOLO (2014). Disponível em <cerpolo.com.br/produtos/>
Acesso em junho de 2014.

Verticais: Os brise-soleils verticais (Figura 12) são eficientes para a proteção de raios solares mais baixos nas primeiras e últimas horas do dia. Variam seu sombreamento em virtude do ângulo azimute, e apresentam-se mais eficientes em latitudes elevadas, posicionados nas fachadas leste e oeste. Caso sejam utilizados para bloquear raios solares mais altos devem ser acentuadamente inclinados, o quê provocará perda de iluminação e ventilação interna (GUTIERREZ, 2004).

Figura 12 - Modelo de *brise-soleil* vertical



Fonte: CERPOLO (2014). Disponível em <cerpolo.com.br/produtos/>
Acesso em junho de 2014.

Combinados: Estes brise-soleils utilizam a combinação das duas tipologias anteriormente citadas (Figura 13), horizontal e vertical, o que possibilita a proteção dos raios solares mais altos e mais baixos. De acordo com MEDEIRO (2012), são muito eficientes em latitudes baixas, pois filtram o excesso de luz natural, sem prejuízo da iluminação e ventilação. GUTIERREZ (2004) considera que esses tipos apresentam um melhor desempenho térmico.

Figura 13 - Modelo de *brise-soleil* combinado

Fonte: CERPOLO (2014). Disponível em <http://cerpolo.com.br/produtos/>. Acesso em junho de 2014.

De acordo com Weber (2005), a maior parte de empresas fabricantes de brise-soleils encontram-se nas regiões Sul e Sudeste do país, o que aumenta os custos para aplicações em outras regiões. Os brise-soleils industrializados são, em grande parte, comercializados nas tipologias verticais e horizontais. A tipologia combinada é ainda pouco utilizada, aplicada em situações específicas como filtros de raios solares. Logo, foi verificado que os produtos industrializados são confeccionados em matérias leves, em geral de alumínio ou aço galvanizado. Esses produtos são pintados com tintas especiais, que garantem características térmicas específicas. Na Tabela 10 são apresentados alguns tipos facilmente encontrados no mercado brasileiro.

Tabela 10 - *brise-soleils* disponíveis no mercado brasileiro

Fabricante	DISPOSITIVOS					Estrutura	PAINÉIS BRISE
	Posição	Mobilidade	Mecanismo	Inclin.	Peso	Material	Material
Inconylon	Vertical ou Horizontal	Fixos ou Móveis	Manual	De 0° a 90°	Leve	Ferro ou Alumínio	PVC
Fibrocell	Vertical ou Horizontal	Fixos ou Móveis	Manual	-	Leve	Alumínio	Alumínio
Aerobrise Hunter Douglas	Vertical ou Horizontal	Fixos	-	30°, 45° ou 60°	Leve	Suporte em Polímero Especial	Alumínio Zincado
Aeroscreen Plano Hunter	Vertical	Fixos ou Móveis	Manual e Elétrico	De 0° a 180°	Médio	Suporte em Polímero Especial	Alumínio Zincado
Luxalon Cell	Combinado	Fixos	-	-	Leve	Alumínio	Alumínio
	Vertical ou Horizontal	Fixos	-	-	Médio	Aço Galvan.	Aço Galvan.
Sul Metais	Vertical ou Horizontal	Fixos ou Móveis	Manual e Elétrico	De 0° a 180°	Médio	Aço Galvan.	Aço Galvan.
Sul Metais Modelo 84	Vertical ou Horizontal	Fixos	-	30°, 45° e 60°	Leve	Alumínio	Alumínio

Fonte: Adaptado de WEBER (2005)

2.7 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A geração de energia elétrica a partir do sol é realizada por elementos transdutores, como as células fotovoltaicas. As placas fotovoltaicas transformam diretamente a luz solar em energia elétrica, ao produzir eletricidade na forma de corrente contínua, que deve ser convertida em corrente alternada, onde é possível usá-la imediatamente ou armazená-la. Seu elemento básico de constituição é um material semicondutor, geralmente, o silício. Os sistemas fotovoltaicos são modulares e permitem o seu agrupamento em diversas aplicações, desde pequenos objetos, como relógios de pulso a usinas fornecedoras de energia (ROAF *et al.*, 2009). São versáteis e muito utilizados em estruturas arquitetônicas novas ou existentes. Ressalta-se aqui, a adaptabilidade a diversos tipos de fachadas, o que representa oportunidades estéticas interessantes para uso doméstico, institucional e comercial (LECHNER, 2009).

As células fotovoltaicas são consideradas produtos sustentáveis, pois não geram resíduos e sua fonte de energia é inesgotável e limpa, mesmo fabricadas com materiais não renováveis. Para Roaf *et al.* (2009), suas principais vantagens são: os fotovoltaicos não emitem CO₂, NOX, ou SO₂; seu retorno financeiro é de aproximadamente de 2 a 5 anos, e sua vida útil é superior a 20 anos; demandam pouca manutenção; e devido à produção da energia ser *in loco*, possuem poucas perdas com transmissão.

Dentre as aplicações dos sistemas fotovoltaicos, destacam-se as aplicações de média e pequena potência, nas quais as primeiras são as mais utilizadas em arquitetura. Nestas aplicações os sistemas fotovoltaicos podem ser operados de três formas (CASTRO, 2008; ROAF *et al.*, 2009):

1. *Ligados à rede de energia elétrica principal:* Para esta aplicação é necessário um inversor que possibilite à conexão do painel a rede de energia, transformando a corrente elétrica contínua em corrente alternada exigida pela rede;
2. *Em sistemas isolados:* São necessários estudos específicos relacionados à radiação disponível em épocas de incidência solar menor. Isto permite a quantificação dos painéis desejáveis para atingir a potência esperada;
3. *Sistemas híbridos:* União de duas ou mais fontes renováveis aos conjuntos fotovoltaicos para a produção da energia necessária.

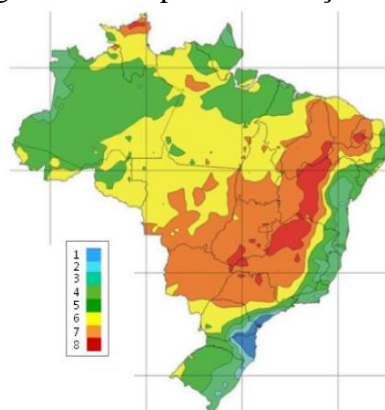
2.7.1 Potencial nacional para energia solar

Atualmente, verifica-se a grande importância da adoção de fontes renováveis de energia, como a solar. Mundialmente, a ênfase na utilização de energias sustentáveis ocorre pela capacidade limitada dos combustíveis fósseis e pelos prejuízos ambientais provocados por esses (BASNET, 2012).

A matriz energética brasileira já se apresenta predominantemente renovável devido à geração hidráulica interna, porém ainda não apresentada fonte fotovoltaica (EPE, 2013).

De acordo a Empresa Pública de Pesquisa Energética (2012), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), as áreas enumeradas de 5 a 8, indicadas no mapa (Figura 14), possuem bom potencial de produção solar, que podem corresponder a um fator médio de 14,4% a 16,2% da eletricidade total.

Figura 14 - Mapa de irradiação solar



Fonte: (EPE, 2012)

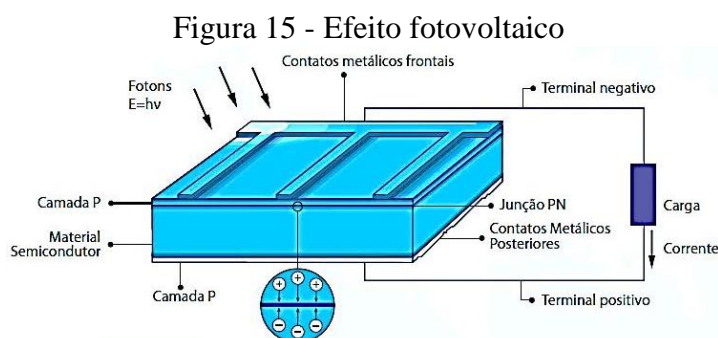
No estudo, *Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira*, realizado pela EPE (2012) foi investigada duas situações distintas de aplicação da energia fotovoltaica no Brasil: a geração distribuída e a centralizada.

No caso da geração distribuída, foi conferida a imediata viabilidade econômica e potencial de competitividade, para uso residencial nas regiões de atuações de 10 concessionárias: Ampla, Celtins, Cemar, Cemig-D, Cepisa, CLFM, Eletroacre, Sulgipe e Uhenpal. Isto devido aos custos das tarifas serem equiparadas a energia convencional. Observa-se também, a breve possibilidade de aplicação a mais 18 concessionárias, caso fossem reduzidos alguns impostos. Foi também verificada a grande viabilidade para o uso comercial, pois esse é 11% mais barato que o uso residencial.

Embora a geração distribuída apresente grande prosperidade, a geração de energia centralizada ainda não oferece viabilidade de operação, pois seus custos não são competitivos em relação a outras energias sustentáveis disponíveis, como a energia eólica. Portanto, para tornar essa energia mais competitiva em relação a outras fontes, o EPE (2012) propõem algumas alternativas que poderiam impulsionar a utilização em todo o país. Tais proposições são: Programas políticos de estímulo para a maior produção dos módulos fotovoltaicos; isenção de impostos, concessão de financiamentos e leilões específicos para a geração centralizada.

2.7.2 Efeito fotovoltaico

Para a ocorrência do efeito fotovoltaico (Figura 15) é necessário o recebimento e absorção da energia solar pelos materiais semicondutores. Geralmente, para a confecção das células são empregados materiais como o silício, arseneto de gálio, telereto de cádmio e desseleneto de cobre e índio. Aproximadamente 92% das células são de silício, encontrado na forma de areia sílica (COGEN, 2012). Entretanto, para condução elétrica é necessário que o retículo cristalino da placa seja dopado com átomos impuros de boro e fósforo. Esta dopagem gera duas regiões elétricas distintas em cada lado da célula. Uma negativa pelo ânion de fósforo (tipo N), e outra positiva pelo cátion de boro (tipo P), na qual, é permitida a transferência de elétrons livres, gerados pelos fótons luminosos que atingem o material. Deste modo, forma-se uma junção denominada P-N através de um campo elétrico interno. Quando as cargas elétricas estão em equilíbrio, a corrente elétrica é nula, porém quando a superfície da junção P-N é iluminada, esse equilíbrio é desfeito, e ocorre a transferência de elétrons (GREEMPRO, 2004; COSTA, 2009, LECHNER, 2009).



Fonte: Disponível em <http://www.housepress.com.br/siteprysmian/pagina_imprensa.asp?id=294>. Acesso em julho de 2013.

2.7.3 Componente do módulo fotovoltaico e tipos de células

As células fotovoltaicas são posicionadas acima de pequenas tiras metálicas e encapsuladas em um material plástico de acetato de vinil-etila (EVA). Geralmente, o lado voltado para o sol é recoberto por uma camada de vidro antirreflexo temperado, sendo o lado posterior, coberto por plástico Tedlar® ou outro substrato. Para a formação dos módulos, as placas de vidro são emolduradas com alumínio, conferindo maior resistência a intempéries (Figura 16) (LECHNER, 2009, COGEN, 2012).

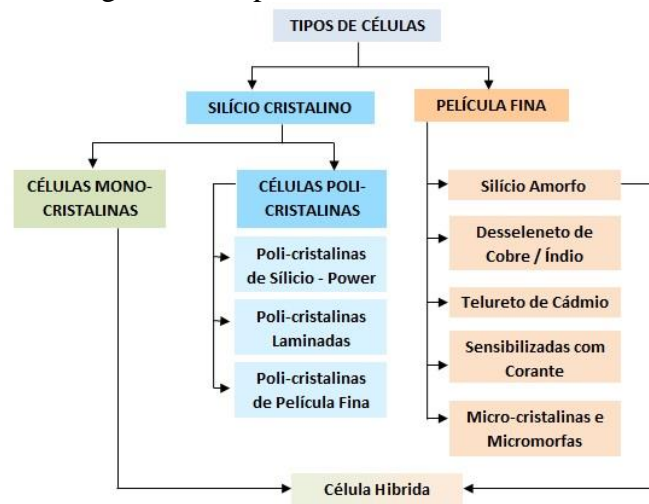
Figura 16 - Constituição do módulo fotovoltaico



Fonte: Adaptado de COGEN (2012)

Observa-se percentualmente, que 57% são policristalinas, 31,7% são monocristalinas, 3,4% de silício amorfo, 5,5% de telureto de cádmio e 2,4% disseleneto de cobre e índio (Figura 17) (COGEN, 2012).

Figura 17 - Tipos de células fotovoltaicas



Fonte: Adaptado de GREENPRO (2004)

2.7.3.1 Células cristalinas

As células mais comercializadas são de silício cristalino monocristalina e policristalina. A célula monocristalina possui característica homogeneia e rígida ao longo de sua extensão. Para sua fabricação é necessário que o material de silício esteja em um elevado grau de pureza (99% do material), gerado por processos químicos específicos, onde são adicionados 2% de semicondutores na composição (EPE, 2012). Nesse processo é produzido um cristal único em temperaturas variantes de 1.400°C , o que gera grande consumo energético. Posteriormente, o mono-cristal é cortado por serras diamantadas em formato quadrado ou redondo, e pode ser associado a camadas de vidro simples. Os tamanhos das pastilhas variam de $10 \times 10 \text{ cm}^2$ a $12,5 \times 12,5 \text{ cm}^2$, ou 10, 12,5 ou 15 cm de diâmetro, fabricadas com 0,3 mm de espessura, em cores de azul escuro a preto (GREENPRO, 2004; RÜTHER, 2004).

Já as células policristalinas possuem processo de fabricação semelhante as monocristalinas, porém com menor custo e menor rigor de qualidade e controle na fabricação. Nesta fabricação o silício é fundido e solidificado de maneira a formar uma superfície granulosa não homogeneia, na qual, os cristais podem ser vistos em várias ondulações em tons de azul. Estas células são cortadas também com serra diamantada em formatos quadrados de $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $12,5 \times 12,5 \text{ cm}^2$ ou $15 \times 15 \text{ cm}^2$, com espessura de 0,3 mm (GREENPRO, 2004; BASNET, 2012).

As células policristalinas do tipo *POWER*, que são produzidas em formados de tiras polidas em ambos os lados, por fresadora de lâmina de rotação rápida. Este procedimento cria oficinas microscópios nas tiras de 0,3 mm, o que proporciona transparência no material. É importante destacar que as células do tipo *POWER* podem ser fotossensíveis em ambos os lados. Sua eficiência é menor devido à transparência (GREENPRO, 2004).

Durante a fabricação das células de silício foi observada grande perda do material bruto em forma de pó de serragem, tendo em vista, a necessária laminação de 0,3 mm de espessura. Assim, buscando diminuir desperdícios, foram desenvolvidas técnicas de laminagem em película fina, onde é possível cortar o material com raios laser na espessura de 0,1 mm. Este procedimento apresenta menor consumo de energia e de silício, e possibilita a redução de custos. (GREENPRO, 2004).

2.7.3.2 Células de película fina

Para a fabricação das células de película é necessária a aplicação de finas camadas de materiais fotoativos em substratos de vidros ou plásticos. Neste processo são depositados por vaporização, banho eletrolítico ou disposição catódica os materiais de silício amorfo, telureto de cádmio ou desseleneto de cobre e índio. Devido a grande absorção luminosa destes compostos, é suficiente à deposição de pouco mais que 0,001 mm de espessura no substrato, para a conversão da energia solar. As células de película fina são produzidas em temperaturas variantes entre 200°C a 500°C em estrutura homogênea (GREENPRO, 2004). Observa-se também, o menor consumo de energia nos processos de produção, além da elevada automação, se comparado à tecnologia de fabricação do silício cristalino, porém sua eficiência na conversão é menor. Outro aspecto negativo é a variação acentuada da eficiência após a instalação, logo nos primeiros 12 meses, mesmo embora esta tecnologia seja menos afetada pela temperatura de exposição e radiação (GREENPRO, 2004; EPE, 2012; BASNET, 2012).

As células de silício amorfo apresentam tamanho máximo de 0,77 x 2,44 m² ou módulos especiais de 2,0 x 3,0 m², na cor marrom avermelhado a preto. Essas apresentam substratos variantes de 1 mm a 3 mm nos materiais de plástico, metal ou vidro não solidificado, revestidas de 0,001 mm de silício. As células de telureto de cádmio possuem módulos de tamanho máximo de 1,20 x 0,60 m², fabricadas em vidro não solidificado de 3 mm com revestimento de 0,008 mm, sendo reflexivas na cor verde escura a preto. Já as células de desseleneto de cobre e índio são pretas, produzidas em vidro não solidificado de 3 mm com revestimentos de 0,003 mm, e no tamanho máximo de 1,20 x 0,60 m² (GREENPRO, 2004).

2.7.4 Eficiência dos painéis fotovoltaicos

Existem muitos estudos para o melhoramento da eficiência energética fotovoltaica. Atualmente, estima-se em média que apenas 13% da energia solar é transformada em eletricidade (GREENPRO, 2004, RÜTHER, 2004, EPE, 2012, BASNET, 2012). Portanto, observa-se que dos 100% de energia solar recebida, 3% é perdida com a reflexão, 23% são perdas associadas à radiação de onda longa dos fótons, 32% em radiação de ondas curtas, 8,5% de perdas em recombinação, 20% é consumida pelo gradiente elétrico da célula, 0,5% são perdas térmicas, restando apenas 13% de energia aproveitável (GREENPRO, 2004). Na

Figura 18 é apresentado o percentual de eficiência energética para cada modelo de célula disponível no mercado. Conclui-se que as tecnologias de silício cristalino são mais eficientes variando de 11% a 19% de aproveitamento. Já as tecnologias de película fina, como mencionado anteriormente, apresentam eficiência bem menor as de silício cristalino, entre 4% a 12%, dependendo do material. Portanto, observa-se que os fotovoltaicos possuem rendimento baixo, comparado ao total da energia irradiada. Este rendimento pode ser melhorado ou piorado, variado pela interferência de fatores como a temperatura de exposição do material e a intensidade da irradiação solar (EPE, 2012).

Figura 18 - Eficiência dos fotovoltaicos

Tecnologia	Eficiência
Silício cristalino	
Monocristalino	13 a 19%
Policristalino	11 a 15%
Filmes finos	
Silício amorfo (a-Si)	4 a 8%
Telureto de Cadmio (Cd-Te)	10 a 11%
Disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS)	7 a 12%
Concentrador fotovoltaico	~25%

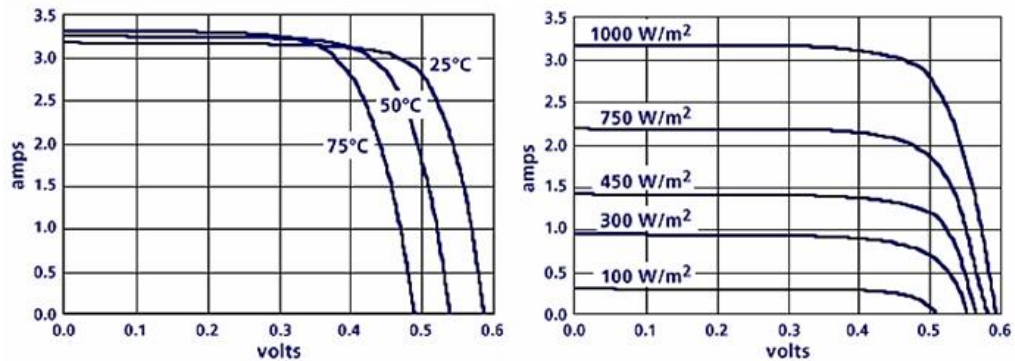
Fonte: adaptado de EPE (2012)

2.7.5 Fatores que Influenciam na eficiência

Existem dois fatores que impactam diretamente a eficiência dos módulos fotovoltaicos, a temperatura ambiente de operação e a intensidade da irradiação solar incidente no material. Primeiramente, observa-se que a tensão no interior de célula diminui expressivamente com o aumento da temperatura nos módulos, enquanto, a corrente sofre apenas uma pequena variação. Deste modo, um aumento significativo de irradiação solar pode provocar a elevação de temperatura no material, o que irá diminuir a eficiência. Por outro lado, a baixa irradiação solar provocada por nebulosidade ou inclinação inadequada dos painéis também provoca diminuição na produção energética (CASTRO, 2008). Geralmente, os fabricantes de painéis fotovoltaicos especificam temperaturas ótimas de funcionamento. Porém, em países com grande incidência solar como o Brasil, as células alcançam facilmente 70°C, o que gera a redução de 20% na potencia máxima em painéis policristalinos e de 10% em painéis de silício amorfo (GOGEN, 2012). Os gráficos da Figura 19 apresentam esses

parâmetros, onde é possível compreender, como o aumento de temperatura afeta a tensão. Já no segundo gráfico, verifica-se o melhor desempenho com radiação incidente próxima a 1000 W/m².

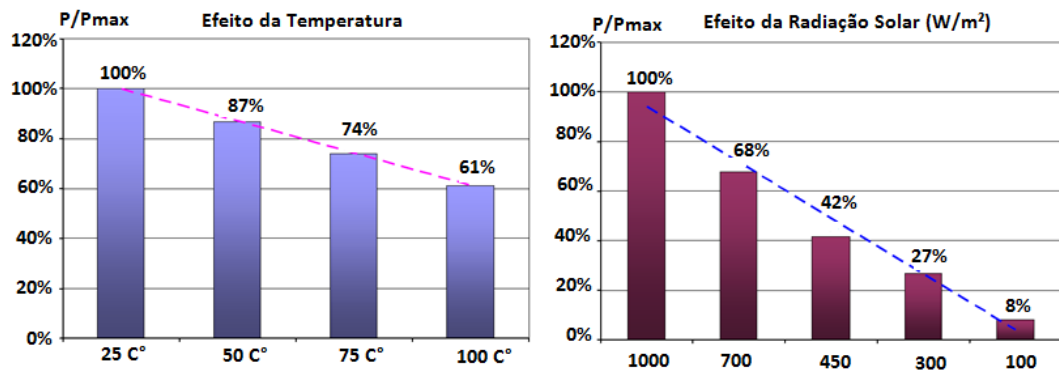
Figura 19 - Efeitos da temperatura e radiação incidente (01)



Fonte: (GOGEN, 2012)

Em estudo realizado por Castro (2008) da Universidade de Lisboa é possível comparar percentualmente as variações de eficiência provocada pela temperatura e pela radiação incidente nas células em geral (Figura 20).

Figura 20 - Efeito da temperatura e radiação solar (02)



Fonte: (CASTRO, 2008)

2.7.6 Custos dos painéis fotovoltaicos

Atualmente, observa-se uma redução significativa dos custos relacionados à energia fotovoltaica. Estima-se que 60% dos custos estão relacionados às células, 10% ao inversor de correntes instalado no conjunto e 30% aos componentes restantes para ligação a rede elétrica. Logo, a diminuição nos custos de fabricação das células é um fator importante para preços mais competitivos (EPE, 2012).

Devido à crise econômica enfrentada por países da Europa, os módulos de silício cristalino apresentaram redução 31% no mercado atacadista alemão e de 42% na China no final do ano de 2011. Na Tabela 11 é apresentado um comparativo entre os diferentes setores econômicos e os custos em dólar americano para instalação dos sistemas fotovoltaicos (EPE, 2012).

Tabela 11 - Preço dos fotovoltaicos em dólar (US\$/kWp)

POTÊNCIA	PAINÉIS	INVERSORES	INSTALAÇÃO	TOTAL
Residencial (4-6 kWp)	2,23	0,57	0,70	3,50
Residencial (8-10 kWp)	2,02	0,50	0,63	3,15
Comercial (100 kWp)	1,74	0,42	0,54	2,70
Industrial (> 1000 kWp)	1,60	0,30	0,48	2,38

Fonte: (EPE, 2012)

No caso do Brasil, para o cálculo dos custos descritos anteriormente, devem ser considerados além das taxas cambiais os impostos de importação, fabricação e comercialização. Na Tabela 12 são apresentados os valores corrigidos acrescidos da taxa cambial e os impostos. Onde foi considerado US\$ 1,00 equivalente a R\$ 2,24, cotação do dia 18/09/2013.

Tabela 12 - Preços da tabela anterior convertidos em reais (R\$ /kWp)

POTÊNCIA	PAINÉIS	INVERSORES	INSTALAÇÃO	TOTAL
Residencial (4-6 kWp)	6,25	1,60	1,95	9,80
Residencial (8-10 kWp)	5,65	1,40	1,76	8,82
Comercial (100 kWp)	4,88	1,18	1,50	7,56
Industrial (> 1000 kWp)	4,48	0,85	1,33	6,65

Fonte: Autora

Conclui-se que os custos no mercado brasileiro apresentam-se elevados devido aos impostos que acrescem 25% ao valor final do produto (EPE, 2012). Isto somado as taxas cambiais, fazem os custos totais oscilarem consideravelmente. Neste sentido, como mencionado anteriormente, para que os fotovoltaicos se tornem mais competitivos é importante à existência de políticas específicas incentivando a fabricação nacional dessa tecnologia e para venda a particulares.

2.8 APLICAÇÕES EM ARQUITETURA

Os módulos fotovoltaicos apresentam hoje grande variedade de aplicações em arquitetura, isto devido aos diversos tipos de células disponíveis. Mundialmente, e, sobretudo

na Europa e nos EUA, os fotovoltaicos são aplicados integrados a arquitetura das edificações, em composições estéticas de fachadas, janelas, guarda corpos e telhados (Figura 21) (LECHNER, 2009). Isto demonstra as preocupações referente à eficiência energética em edificações (BASNET, 2012).

De acordo com BROWN e DEKAY (2007), os módulos fotovoltaicos podem ser instalados de diversas formas nas edificações: fixados sobre suportes e presos como plano de vidro, fixados a telhados; como substitutos de vidraçarias convencionais e em suportes móveis semelhantes à brises solares (ALUK, 2006; MERLO, 2007). Desta maneira, BROWN e DEKAY (2007) propõem algumas estratégias de projeto que colaboram a aplicação das células: orientar as cumeeiras para Leste-Oeste; colocar maiores águas de telhado para o Norte; não projetar saídas de tubulações como *shafts* e chaminés nos telhados Norte; inclinar corretamente os painéis; e substituir sempre que possível à vidraçaria convencional pelos vidros fotovoltaicos.

Figura 21 - Aplicações em arquitetura



Fonte: (BASNET, 2012)

2.8.1 Orientação e inclinação ótima para captação solar

Para que os módulos fotovoltaicos colem energia apropriadamente, é necessário que estejam posicionados corretamente. Esses devem estar orientados para o norte verdadeiro no hemisfério sul, onde ocorre a maximização da energia coletada. Caso não estejam totalmente

posicionados para o norte, devem estar orientados em até no máximo 30° a esse. Em latitudes tropicais, observa-se que uma boa inclinação dos painéis é mais significativa que a orientação, porque o sol geralmente permanecer mais alto no céu. Assim, para maior obtenção de energia, no verão, os painéis devem ser inclinados, em relação ao plano horizontal do solo, em ângulos equivalente à latitude dos sítios menos 15° . Já no inverno esses devem ser inclinados com ângulos equivalentes à latitude dos sítios mais 15° . Em casos de painéis que não possuam mecanismos para alternância de inclinação, a produção anual pode ser melhorada, inclinando-os em ângulos iguais à latitude dos sítios (BROWN e DEKAY, 2007).

2.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE ALETAS

As superfícies aletadas são denominadas de dissipadoras de calor, e geralmente, são utilizadas para o resfriamento de dispositivos eletrônicos, motores, e corpos que necessitam de trocadores de calor. Assim, ao aplicar um dispositivo aletado a um corpo, ocorrerá a transferência de calor do corpo para o dissipador por condução interna, e posteriormente, a transferência de calor do dissipador para o meio ambiente por convecção natural ou forçada. Existem diversos estudos relacionados à convecção natural em aletas, sendo esses relacionados ao dimensionamento das áreas de transferência e ao espaçamento. Destaca-se que um dissipador com aletas “*estritamente espaçadas*” terá maior superfície de dissipação, porém seu coeficiente de transferência de calor é menor, devido à maior resistência oferecida na passagem de fluxos de fluídos entre as aletas. No entanto, um dissipador com aletas “*amplamente espaçadas*” terá menor área para dissipação, e seu coeficiente de transferência de calor será maior, devido a menor resistência na passagem de fluxos de fluídos. Portanto, constata-se a existência de um “*espaçamento ótimo*” que maximize a transferência de calor, assim como, o dimensionamento ideal da área de transmissão (ÇENGEL e GHAJAR, 2011).

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é exibido o desenvolvimento do trabalho dissertativo, onde são expostas as considerações gerais sobre o produto projetado, a experimentação realizada com aletas e o estudo de uso do produto por meio do RTQ-C (2010).

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE PROJETO

Conforme apresentado no Capítulo 1, um dos principais objetivos do trabalho é o projeto de um produto com princípios dos conceitos sustentáveis, que atendam as necessidades específicas de conforto térmico e luminoso, para diversas tipologias de edificações. Para tanto, optou-se pela utilização de uma abordagem estruturada para o desenvolvimento de produtos, fortemente baseada na metodologia encontrada nas publicações dos autores Ulrich & Eppinger (2012).

Desta forma, foram feitos recortes nas etapas e áreas do conhecimento do método proposto por esses autores para melhor adequação a proposta. Portanto, pelas características de uma pesquisa para dissertação de mestrado, a metodologia supracitada foi adaptada, enfatizando as etapas Planejamento e Desenvolvimento dos Conceitos, na área correspondente a Design.

Deste modo, foram verificadas as oportunidades e as principais características do produto. Em seguida, foram realizadas proposições conceituais de quatro suportes para montagem do *brise-soleil* fotovoltaico elaboradas com auxílio de suporte computacional. Essas soluções foram analisadas e ranqueadas na matriz de seleção de conceitos do método supracitado. Logo, a opção de melhor desempenho foi utilizada na montagem do projeto final.

Destaca-se, que o *brise-soleil* fotovoltaico foi projetado em conformidade com as características do modelo SX 120 U de silício policristalino da empresa BP Solar. A escolha foi pautada na facilidade de obtenção de informações, uma vez que, esse modelo está presente na usina fotovoltaica da Universidade Federal de Juiz de Fora.

3.1.1 Determinação das oportunidades do mercado

Em vista da revisão de literatura realizada, observou-se que o mercado para produtos sustentáveis apresenta um considerável crescimento, uma vez que, aproximadamente 73% dos brasileiros planejam aumentar seus gastos com esses artigos (SUSTENTAX, 2010).

Verificou-se também, que investimentos em inovações relacionados no setor energético representam oportunidades viáveis, devido a atual demanda pelo consumo racional de energia e as possibilidades de economia nas edificações. Dentre as inovações relacionadas ao setor, foram constatadas boas oportunidades nos investimentos com módulos fotovoltaicos, ocasionados pelas reduções de custos no mercado internacional e pela viabilidade da geração descentralizada no Brasil. Estes fatores, somados a grande demanda por aparelhos para conforto ambiental, em vista a predominância dos climas quentes no país, viabilizam a proposta para o produto empreendido. Na Tabela 13 é apresentado escopo do produto, com as possibilidades de inserção no mercado, os pressupostos e os grupos de pessoas afetadas pelos atributos do produto, de acordo com a abordagem estruturada descrita anteriormente (ULRICH E EPPINGER, 2012).

Tabela 13 - Definição do produto e mercados

ESCOPO DO PROJETO BRISE-SOLEIL FOTOVOLTAICO	
MERCADO PRINCIPAL:	Edificações de serviços.
	Edificações institucionais.
	Edificações públicas.
	Edificações residenciais plurifamiliares.
	Edificações fabris
MERCADOS SECUNDÁRIOS:	Edificações residenciais unifamiliares.
	Consumidores casuais.
PRESSUPOSTOS DO PRODUTO	Eficiência
	Facilidade de manutenção
	Facilidade de instalação
	Flexibilidade
GRUPO DE PESSOAS AFETADAS PELOS ATRIBUTOS DO PRODUTO	Centros de serviços Setores produtivos Distribuidores Usuários finais

Fonte: Adaptado de ULRICH & EPPINGER (2012)

3.1.2 Determinação de requisitos para observação em projeto

Para que o produto atenda satisfatoriamente os objetivos estabelecidos, é necessário que requisitos que envolvam qualidade para os clientes sejam atendidos (Tabela 14). Tais características foram elencadas pela autora, após o estudo das diversas literaturas apresentadas no Capítulo 2.

Tabela 14 - Demandas do projeto

REQUISITOS PARA QUALIDADE			
01	Emprego de materiais leves.	08	Flexibilidade para ajustes.
02	Versatilidade no controle de luz.	09	Durabilidade.
03	Resposta às necessidades sustentáveis.	10	Resistência mecânica.
04	Características estéticas satisfatórias.	11	Facilidade de instalação.
05	Geometria para melhor geração de energia.	12	Segurança contra acidentes.
06	Mecanismo para dissipação de calor no módulo fotovoltaico.	13	Número de componentes.
07	Simplicidade de mecanismos.		

Fonte: Autora

Esses requisitos foram organizados em três grupos específicos: Mecanismo de Funcionamento, Material Empregado e Design do Produto. Assim, foram pontuados em níveis de importância, variantes de 1 a 5 pela autora. Onde 1 corresponde a pouco importante, e 5 a muito importante (Tabela 15).

Tabela 15 - Pontuação das características

Nº DE ITENS		CARACTERÍSTICAS	PONTUAÇÃO	UNIDADE
01	Mecanismo	Versatilidade no controle de luz.	5	ângulos
02	Mecanismo	Flexibilidade para possíveis ajustes.	4	-
03	Mecanismo	Simplicidade de mecanismos.	3	Nº
04	Mecanismo	Mecanismo para dissipação de calor.	4	-
05	Mecanismo	Número de Componentes.	3	Nº
06	Material	Durabilidade.	4	Anos
07	Material	Emprego de materiais leves.	5	Kg
08	Material	Resistência mecânica.	4	N
09	Design	Características estéticas satisfatórias.	3	Subjetivo
10	Design	Facilidade de instalação.	4	Tempo (s)
11	Design	Segurança contra acidentes.	4	-
12	Design	Geometria para melhor geração de energia.	5	-
13	Design	Resposta às necessidades sustentáveis.	5	-

Fonte: Adaptado de ULRICH e EPPINGER (2012)

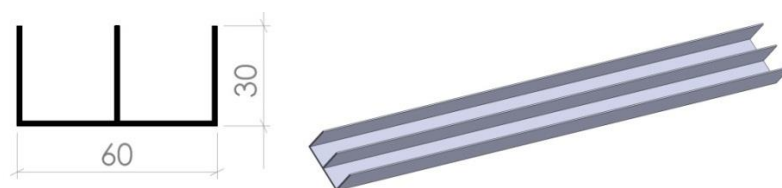
Esta tabela mostra-se como uma síntese das necessidades e dos requisitos para o desenvolvimento produto, onde as características mais pontuadas, e consequentemente mais importantes, devem ser observadas ao longo do processo projetual.

Neste momento, também são enfatizados os conceitos iniciais trabalhados, que englobaram a utilização da tipologia horizontal no *brise-soleil* (devido à posição de funcionamento do fotovoltaico), a elaboração de algumas opções para o suporte de sustentação do módulo, e a possibilidade de modulação para aplicação em diversas tipologias de edificações. No trabalho são apresentados os componentes projetados separadamente, que posteriormente, são reunidos na apresentação do projeto final.

3.1.3 Módulo fotovoltaico com aletas para dissipação de calor

Como explicitado anteriormente, este trabalho pretende realizar experimentação com perfis de alumínio, para a formação de superfície aletada na face posterior do módulo fotovoltaico. Contudo, é necessário esclarecer algumas delimitações e exclusões no estudo. Esse estudo não realizará o dimensionamento “ótimo” das aletas, estando basicamente direcionado para a validação do conceito e do experimento de dissipação de calor em fotovoltaicos. O experimento utiliza perfis de alumínio encontrados no mercado (Figura 22). Portanto, caso o conceito seja validado com tais perfis, será também confirmado se utilizadas “aletas ótimas para dissipação”.

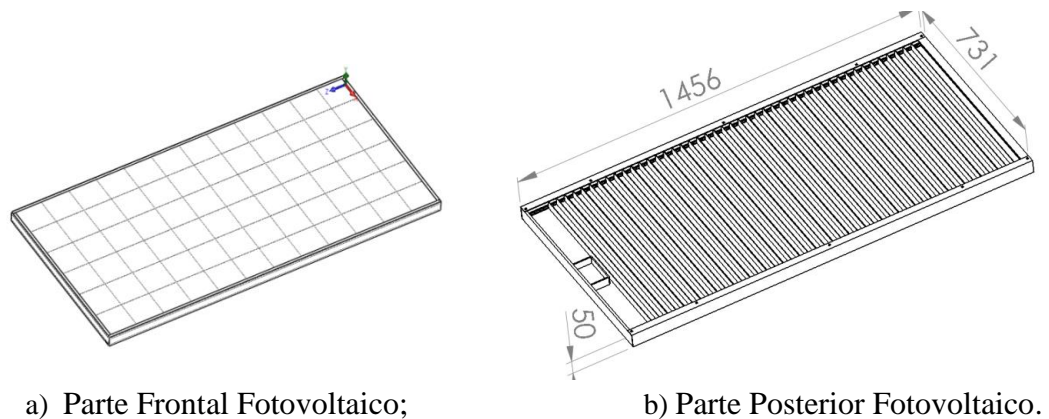
Figura 22 - Perfil de alumínio U duplo (unidade mm)



Fonte: Autora

Logo, para o projeto do brise-soleil foi utilizado o módulo de silício policristalino SX 120 U de dimensões 1461 mm x 731 mm x 50 mm que apresenta potência máxima de 120 W em condições ideais de radiação solar e temperatura. A proposta para superfície dissipadora apresenta dimensionamento de 709 mm x 1360 mm, com aletas de 30 mm de altura, espaçamento de 30 mm entre aletas, e espessura de 1,5 mm (Figura 23).

Figura 23 - Módulo com dissipador

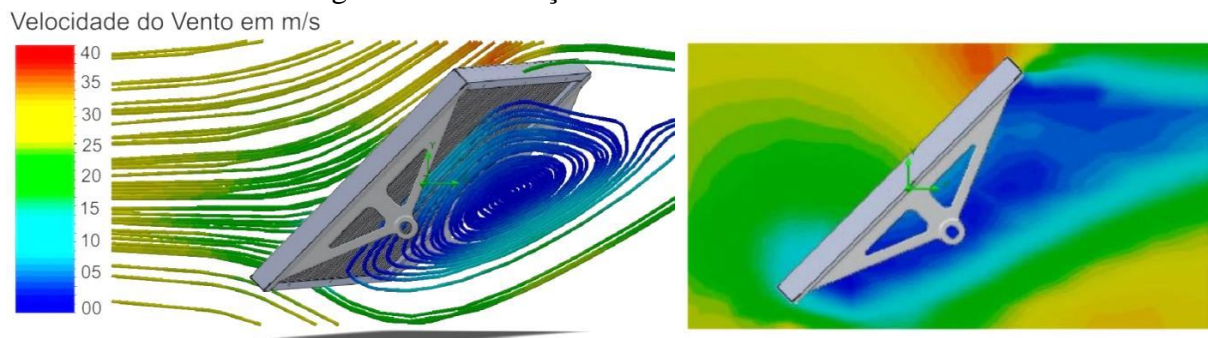


Fonte: Autora

3.1.4 Simulação de vento para projeto de componentes

Inicialmente, foi realizada avaliação dos possíveis esforços aplicados sobre o suporte do *brise-soleil* fotovoltaico. Para isto, foi simulada a incidência de ventos frontais sobre o painel, em inclinação típica de 45° . Essa simulação foi realizada no programa computacional Solidworks, e teve como principal dado de entrada, a velocidade de 27,78 m/s ou 100 km/h para ventos direcionados no eixo X (Figura 24), configurando-se como uma situação crítica.

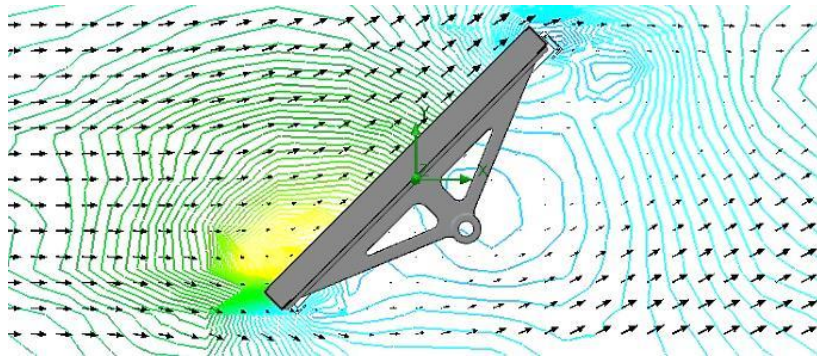
Figura 24 - Simulação do vento frontal incidente



Fonte: Autora

Na simulação, verifica-se a circulação de fluxos por trás do painel fotovoltaico, causados pela pressão dinâmica, que gera a aceleração centrípeta do ar. Logo, conclui-se que a incidência de ventos no eixo X, melhora a dissipação do calor por convecção entre as aletas.

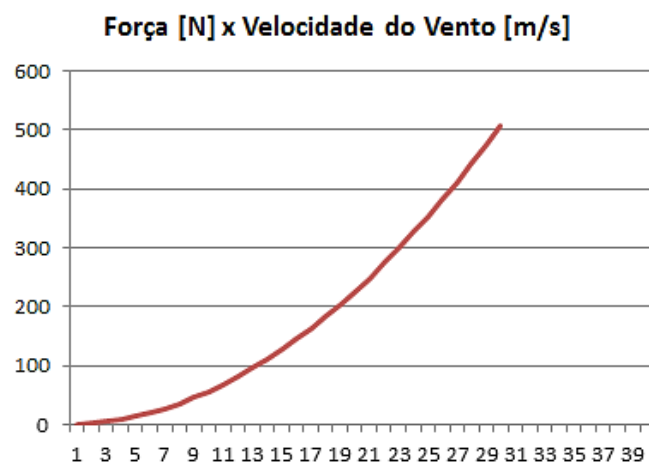
Figura 25 - Zonas de pressão



Fonte: Autora

A pressão dinâmica pode ser conceituada pela energia cinética das partículas do ar em movimento, em contato com determinada superfície. Este fenômeno tem por resultado uma região de alta pressão na parte inferior dianteira do brise-soleil (região em amarelo, Figura 25), produzindo aceleração tangencial e centrípeta das partículas do ar. Observa-se que, a pressão dinâmica gera três fenômenos distintos, sendo estes: o fenômeno de arrasto paralelo à direção do fluxo (eixo X), o fenômeno de sustentação negativa na direção $-Y$ perpendicular ao fluxo, e o torque no eixo Z, gerado pela distribuição não uniforme das forças na superfície do módulo fotovoltaico. É importante destacar, que o fenômeno de arrasto causa a fricção do fluido nas superfícies devido à viscosidade, e também, o deslocamento do corpo pela diferença de pressão entre superfície dianteira (zona alta pressão) e posterior (zona baixa pressão). Na Figura 26 é apresentado o gráfico de força por velocidade do vento no eixo X, direção incidente do fluxo.

Figura 26 - Gráfico: força x velocidade do vento (eixo x)



Fonte: Autora

Na Figura 27 são expostos os dados de entrada para simulação.

Figura 27 - Parâmetros de entrada, simulação de vento

Parâmetros da Simulação

Name	Minimum	Maximum
Pressure [Pa]	100910,7	102311,3
Temperature [K]	292,68	293,53
Density [kg/m ³]	1,2	1,21
Velocity [m/s]	0	42,30
Velocity (X) [m/s]	-8,428	33,645
Velocity (Y) [m/s]	-22,028	33,645
Velocity (Z) [m/s]	0	0
Temperature (Fluid) [K]	292,68	293,53
Mach Number []	0	0,12
Vorticity [1/s]	0,192	450,10
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
Shear Stress [Pa]	0	0

Fonte: Autora

A seguir, na Tabela 16 são exibidos os resultados da simulação nos eixos X, Y e Z.

Tabela 16 - Resultados dos esforços gerados pelo vento

FORÇAS	Unidades	Valor	Valor Médio	Valor Mínimo	Valor Máximo
Força Normal	[N]	740,267	735,506	732,044	741,347
Força (X)	[N]	523,772	520,172	517,691	524,358
Força (Y)	[N]	-523,561	-520,431	-524,501	-518,026
Torque (Z)	[N*m]	100,420	98,655	97,966	100,420

Fonte: Autora

Por fim, a Normal, força perpendicular à superfície, é a resultante dos esforços do vento, sendo seu valor mínimo de 735,5 N e máximo de 741,34 N. Destaca-se que as forças encontradas na Tabela 16 são exercidas sobre a superfície do módulo fotovoltaico e posteriormente transferidas para o suporte do *brise-soleil*.

3.1.5 Opções de suporte para módulo fotovoltaico

Após a simulação de vento, que apresenta resultante máxima de 741,34 N, deverá ser acrescentado o peso do módulo fotovoltaico (12 kg), para obtenção do esforço máximo sobre o suporte do *brise-soleil* em condições de ventos extremos. Logo temos a Equação 1 abaixo:

Equação 1- Esforço perpendicular resultante máximo

$$F_T = 741,34 + (\cos 45^\circ \times 120)$$

$$F_T = 826,2 \text{ N}$$

Portanto, destaca-se que em situações de tempestades, com ventos superiores a 100 Km/h, a superfície perpendicular do módulo fotovoltaico é atingida por esforço resultante de 826,2 N que são subdivididos em cargas de 413,1 N, para cada lateral de encaixe do brise-soleil. Assim, para validação de resistência das proposições, e de algumas das peças para montagem, foram aplicadas cargas de 500 N, em simulação computacional de protótipos virtuais.

As peças do *brise-soleil* fotovoltaico foram projetadas em liga de Alumínio 1060 (Tabela 17). Essa liga possui boa comercialidade no mercado, por ser relativamente pura, além de muito dúctil quando recozida, e indicada para deformação a frio. Outra característica está na boa resistência à corrosão, na qual pode ser aumentada com a pureza da liga. Verificam-se também, suas aplicabilidades industriais em mecanismos de trocadores de calor (ABAL, 2007). Em relação à fabricação dos suportes, são propostos os processos de fundição em molde de areia, e a usinagem para acabamento, onde é necessária maior precisão dimensional.

Tabela 17- Algumas propriedades da liga de alumínio 1060

PROPRIEDADE	VALOR	UNIDADES
Módulo Elástico	69000	N/mm ²
Densidade	2700	Kg/m ³
Módulo de Cisalhamento	27000	N/mm ²
Limite de Escoamento	27,57	N/mm ²
Limite de Resistência a Tração (Ruptura)	68,94	N/mm ²

Fonte: Valores de referência obtidos no Soliworks

Em geral, as estruturas metálicas são projetadas para assegurar limites de deformações elásticas quando uma tensão é aplicada - onde o limite de escoamento representa a transição da fase elástica do material para a fase plástica (CALLISTER, 2008). Portanto, como supracitado na tabela anterior, o limite de escoamento da liga de Alumínio 1060 é de 27,57 N/mm², a partir desse limite o material sofrerá deformações permanentes, vindo a romper a partir do limite de resistência a tração de 68,94 N/mm².

Neste momento, é enfatizada a formulação de quatro opções de suporte, que foram avaliados com auxílio de suporte computacional para escolha da melhor proposta.

3.1.5.1 Opção suporte I

Na Tabela 18 são expostas algumas características do suporte I:

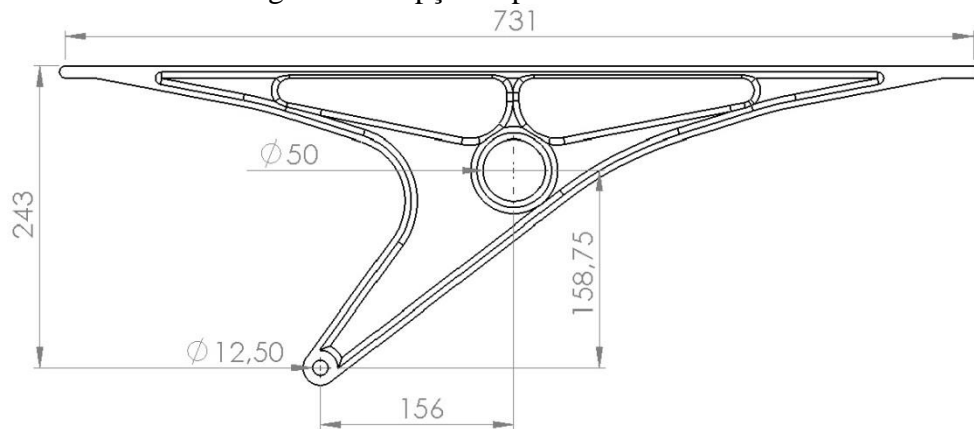
Tabela 18 - Características suporte I

SUPORTE I	
Massa	1518,16 gramas.
Volume	562281 mm ³ .
Área de Superfície	155775 mm ² .
Eixo de Rotação	Central.
Carga aplicada para Teste	500 N.

Fonte: Autora

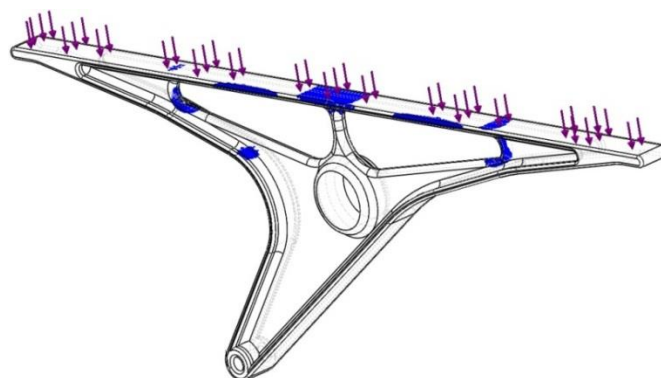
Na Figura 28 é apresentado o desenho da vista frontal do suporte I, desenhado em mm e na escala 1/4.

Figura 28 - Opção suporte I - escala 1/4



Fonte: Autora

Figura 29 - Principais pontos de tensões - suporte I

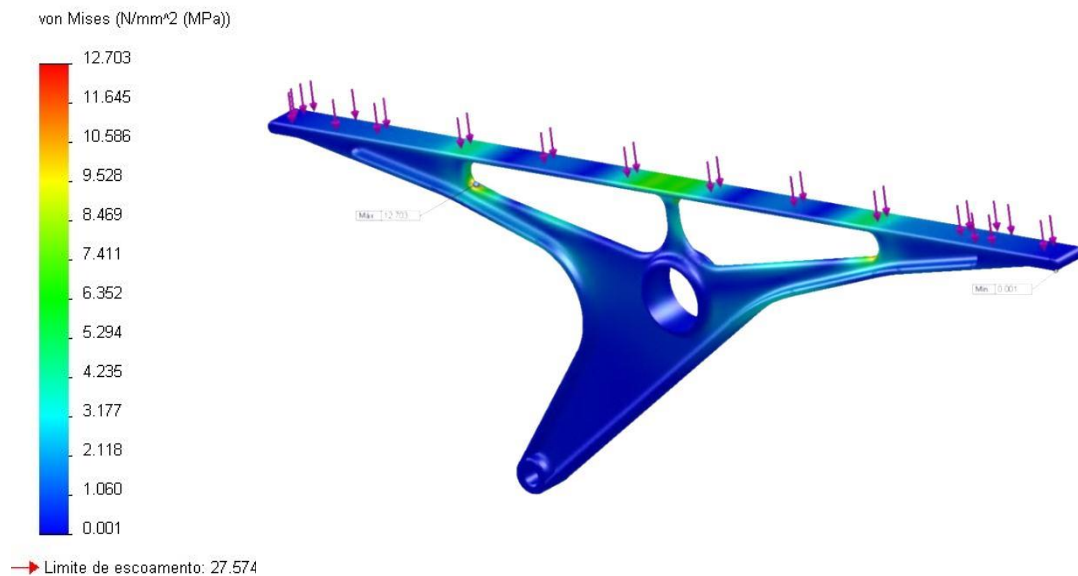


Fonte: Autora

Em azul, na Figura 29, são exibidas as principais áreas onde a carga de 500 N exerce maiores tensões. Em análise estrutural, observou-se que as tensões de deformação aplicadas ao modelo chegaram em seu limite máximo a 12,7 N/mm² (Figura 30). Isto demonstrou

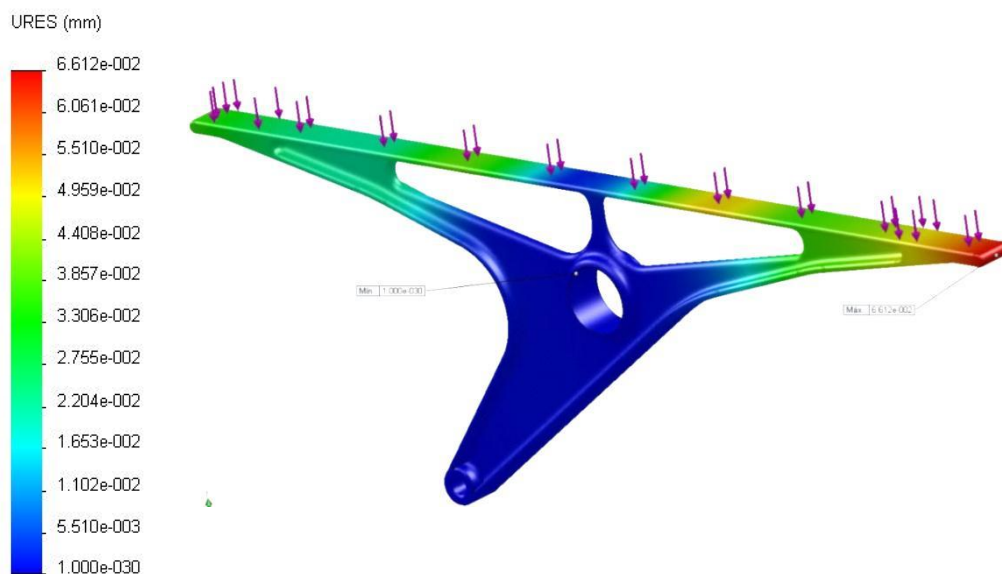
resultado satisfatório, em vista ao limite de escoamento de 27,57 N/mm². Portanto, esse modelo sofrerá apenas a deformação elástica do material, sem deformações permanentes. Ressalta-se que o deslocamento estático está relacionado a deformação elástica quando é aplicada a carga no objeto (Figura 31).

Figura 30 - Tensões von mises - suporte I



Fonte: Autora

Figura 31- Deslocamento estático – suporte I



Fonte: Autora

3.1.5.2 Opção suporte II

Na Tabela 19 apresentam-se as características do suporte II:

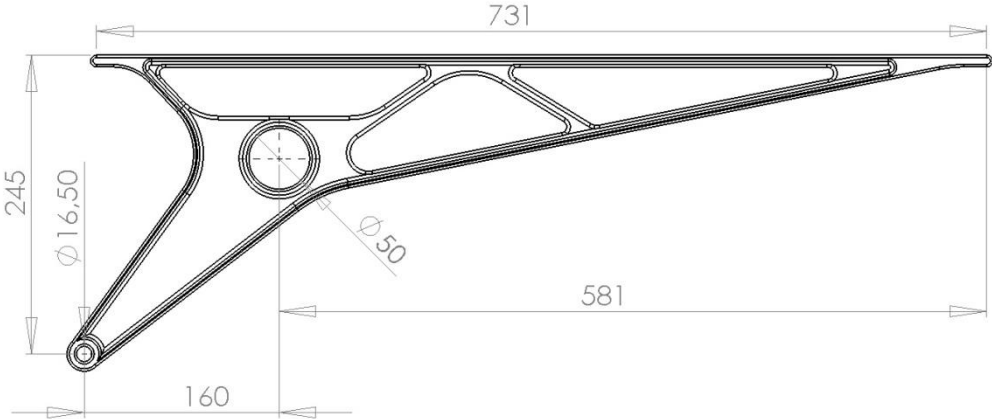
Tabela 19 - Características suporte II.

SUPORTE II	
Massa	1444,7 gramas
Volume	535066,5 mm ³
Área de Superfície	163289 mm ²
Eixo de Rotação	Posicionado próximo à extremidade.
Carga aplicada para Teste	500 N

Fonte: Autora

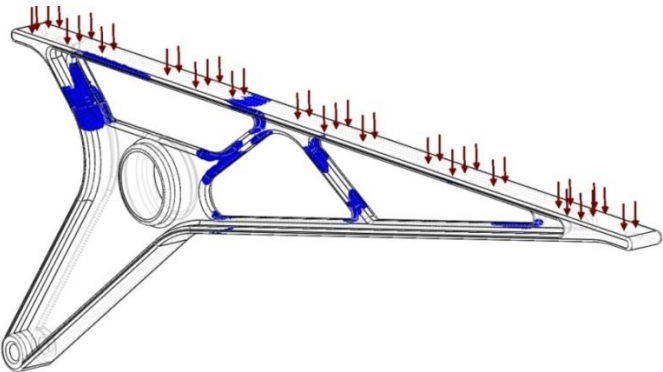
Na Figura 32 é apresentado o desenho da vista frontal do Suporte II (cotas em mm). Já na Figura 33 estão demarcadas em azul as principais áreas de tensão-deformação exercidas pelo carregamento.

Figura 32 - Opção suporte II - escala 1/4



Fonte: Autora

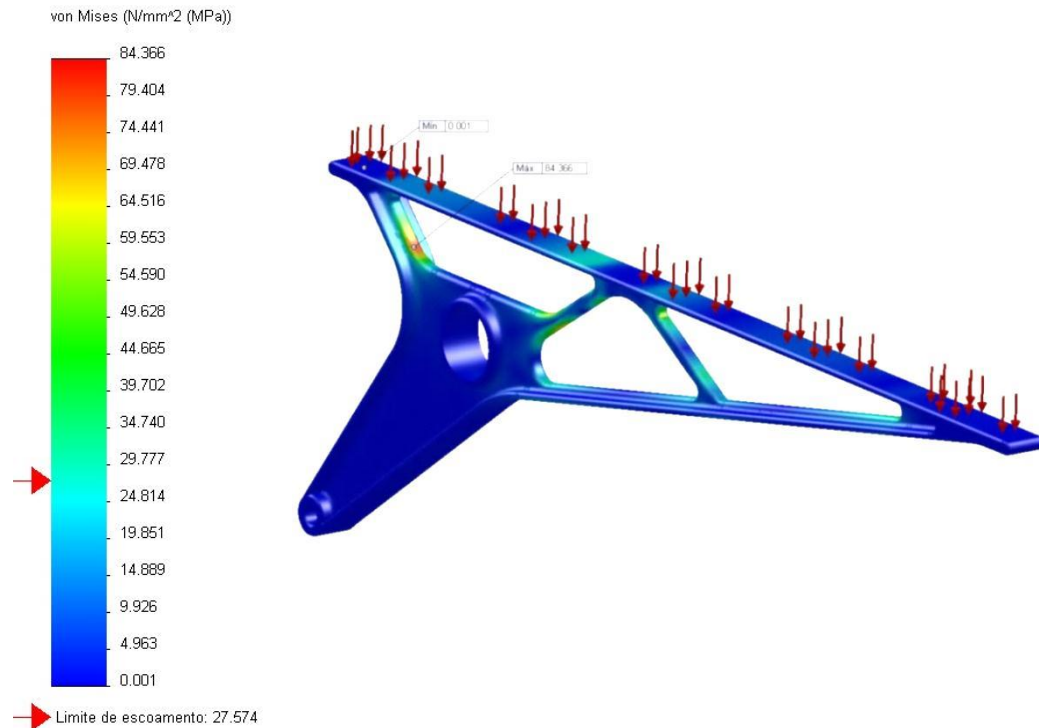
Figura 33 - Principais pontos de tensões - suporte II



Fonte: Autora

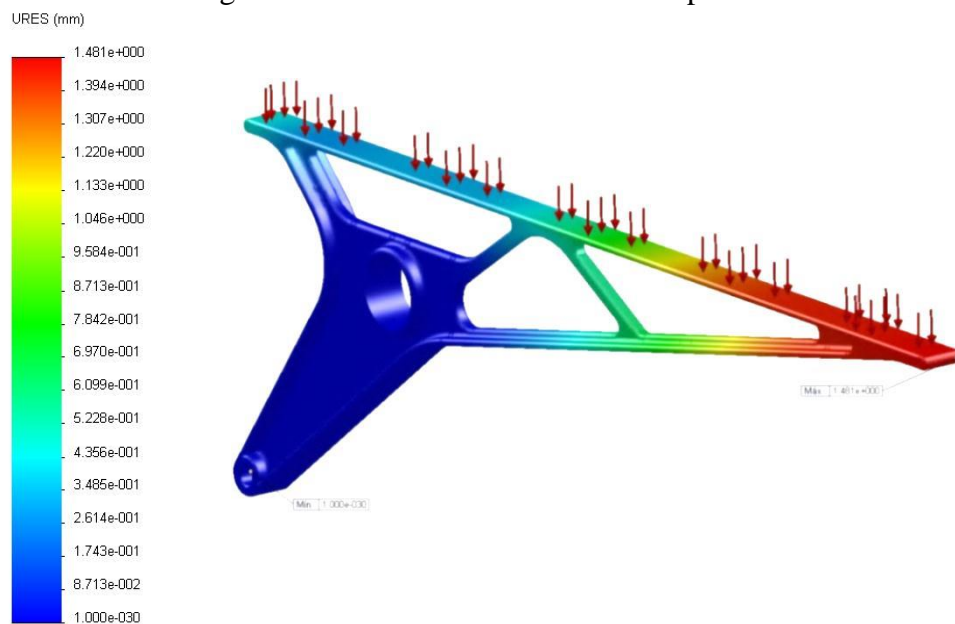
Foi verificado que o carregamento de 500 N aplicado no suporte II gerou tensão máxima de 84,36 N/mm² (Figura 34), bem acima do limite de escoamento de 27,57 N/mm² e também, superior ao limite resistência à tração do material de 68,94 N/mm². Portanto, o suporte II, conforme projetado, poderá apresentar quebra da estrutura com deformações plásticas permanentes (Figura 35).

Figura 34 - Tensões von mises - suporte II



Fonte: Autora

Figura 35 - Deslocamento estático - suporte II



Fonte: Autora

3.1.5.3 Opção suporte III

Características do suporte III (Tabela 20):

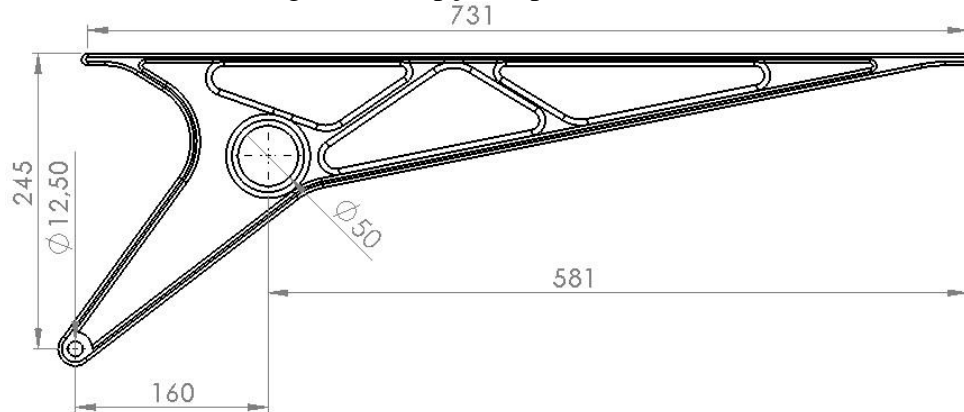
Tabela 20 - Características suporte III

SUPORTE III	
Massa	1548,7 gramas
Volume	573568,7 mm ³
Área de Superfície	169625 mm ²
Eixo de Rotação	Posicionado próximo à extremidade.
Carga aplicada para Teste	500 N

Fonte: Autora

Na Figura 36 é apresentado o desenho da vista frontal do suporte III, cotado em mm e na escala 1/4.

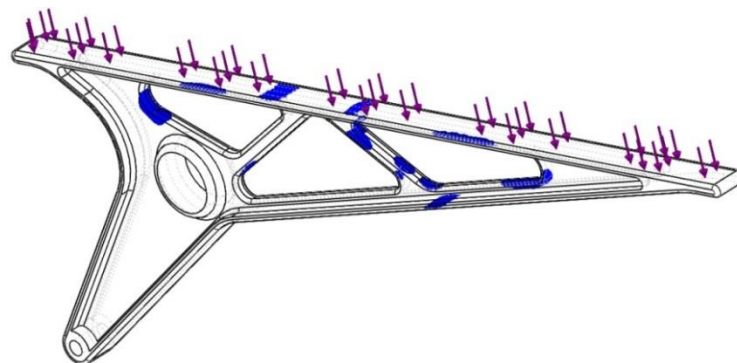
Figura 36 - Opção suporte III - escala 1/4



Fonte: Autora

Na Figura 37, estão demarcadas em azul as principais áreas de tensão-deformação exercidas pelo carregamento.

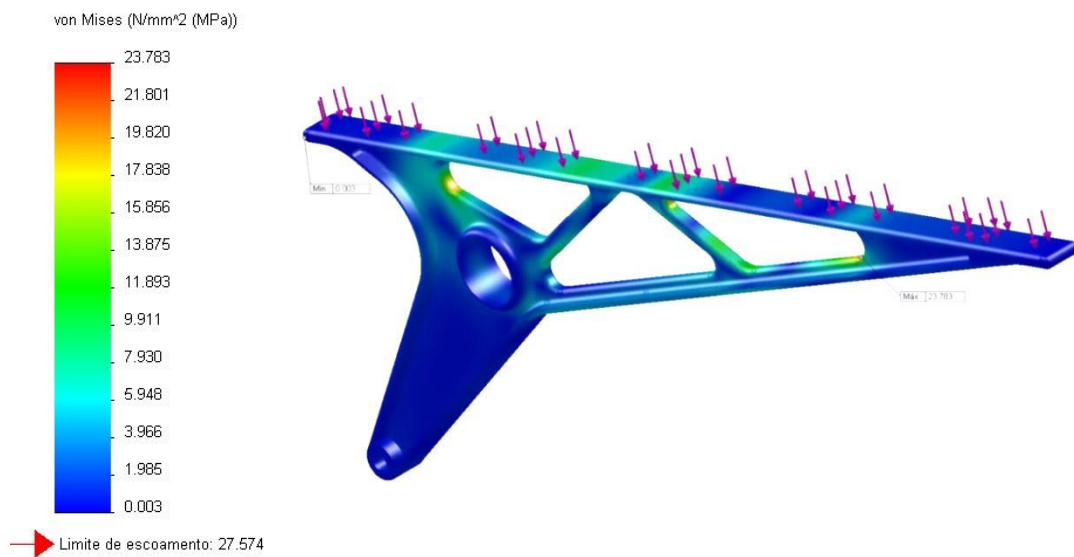
Figura 37 - Principais pontos de tensões - suporte III



Fonte: Autora

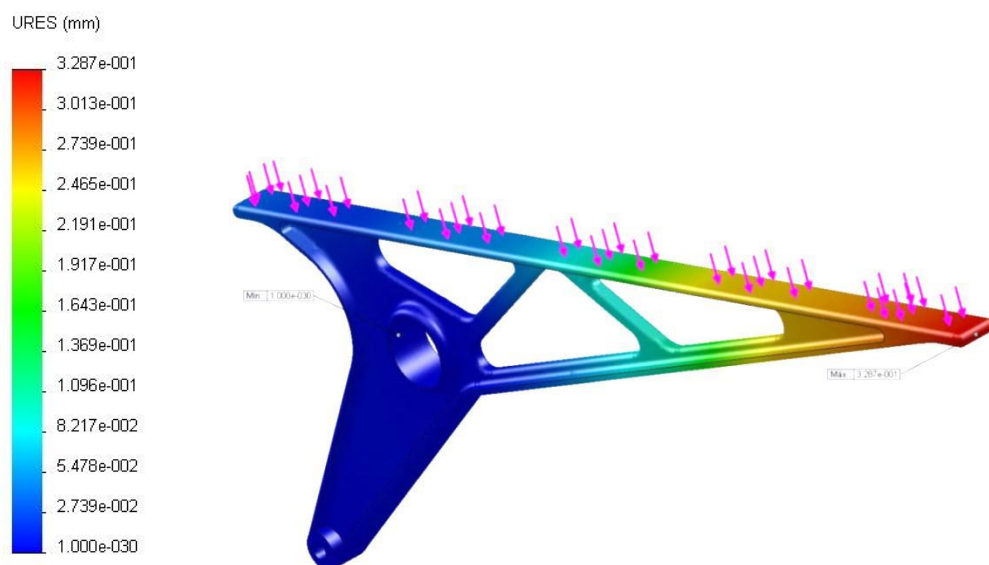
Na experimentação com carregamento de 500N no suporte III, observou-se que a tensão máxima aproximou-se de 23,8 N/mm², abaixo do limite de 27,57 N/mm² (Figura 38). Portanto, no suporte III não ocorrem deformações plásticas e estruturais. O deslocamento elástico, que ocorre sem a deformação permanente do material, será maior na extremidade em vermelho da Figura 39.

Figura 38 - Tensões von mises - suporte III



Fonte: Autora

Figura 39 - Deslocamento estático - suporte III



Fonte: Autora

3.1.5.4 Opção suporte IV

Características do suporte IV (Tabela 21):

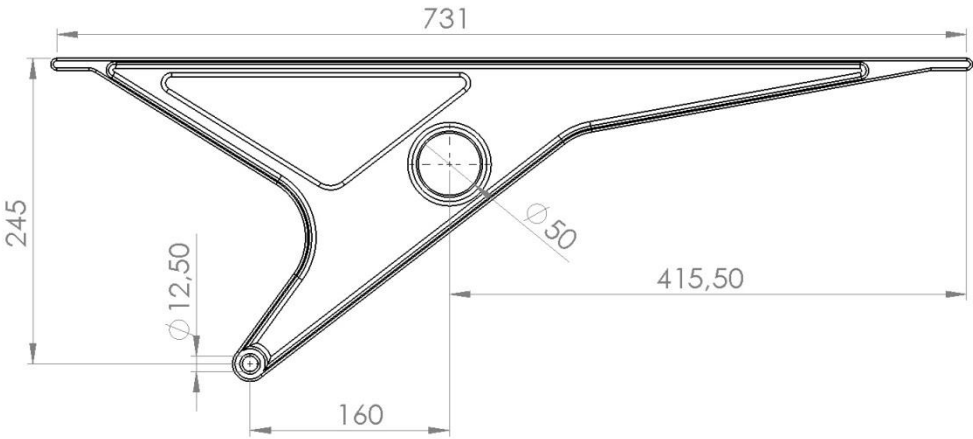
Tabela 21 - Características suporte IV

SUPORTE IV	
Massa	1696,33 gramas
Volume	628270,6 mm ³
Área de Superfície	170793,6 mm ²
Eixo de Rotação	Levemente deslocado da centralidade
Carga aplicada para Teste	500 N

Fonte: Autora

A seguir (Figura 40), é exibida a vista frontal do suporte IV, em mm e na escala 1/4.

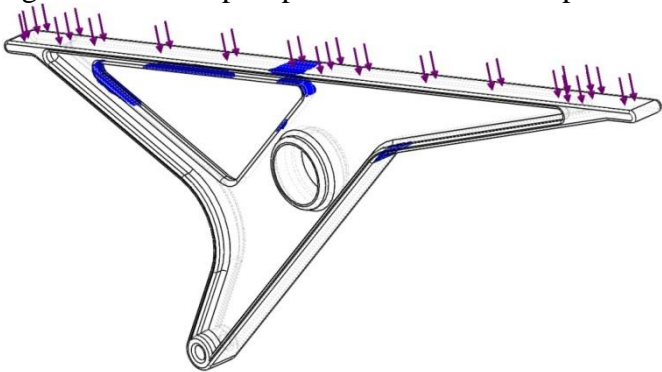
Figura 40 - Opção suporte IV - escala 1/4



Fonte: Autora

Na Figura 41 são apresentados os principais pontos de tensão exercidos pelo carregamento de 500N.

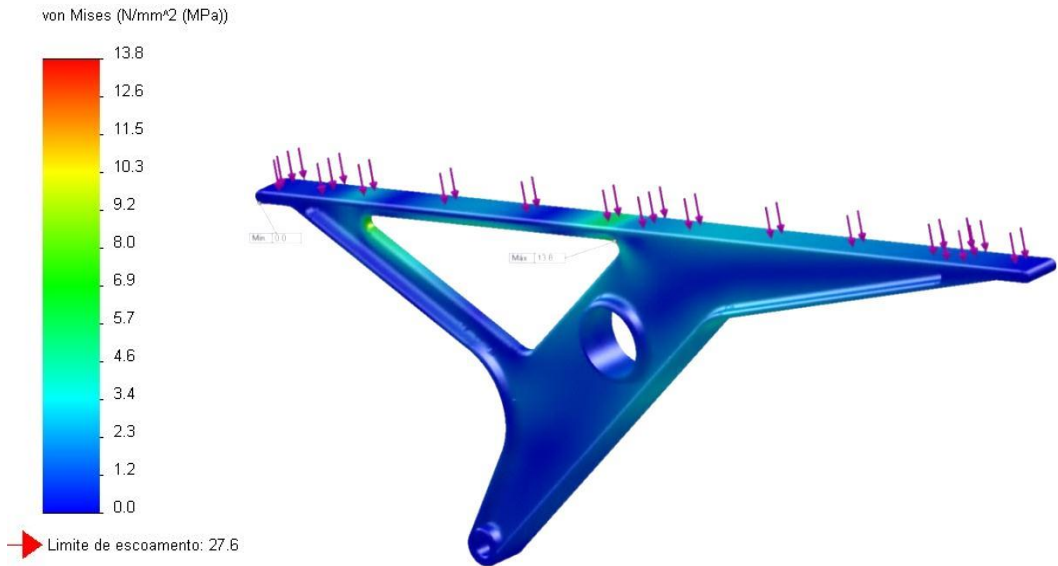
Figura 41 - Principais pontos de tensões - suporte IV



Fonte: Autora

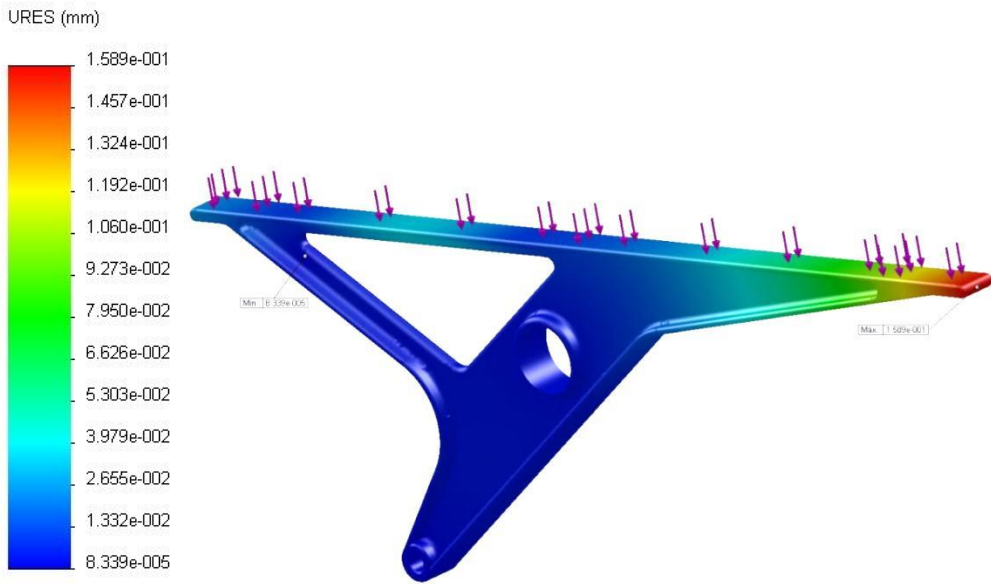
No suporte IV, o carregamento de 500 N gerou tensão máxima de 13,8 N/mm² (Figura 42). Este valor está bem abaixo do limite de escoamento do material de 27,6 N/mm². Portanto, esse modelo não sofrerá deformações plásticas permanentes, limitando-se a deformações elásticas e deslocamento estático do objeto sem deformação plástica, conforme Figura 43.

Figura 42 - Tensões von mises - suporte IV



Fonte: Autora

Figura 43 - Deslocamento estático - suporte IV



Fonte: Autora

3.1.6 Matriz de seleção aplicada para escolha do suporte

Para a avaliação das opções anteriores, é aplicada a matriz de seleção, proposta pelos autores Ulrich & Eppinger (2012), conforme Tabela 22, na qual o suporte III é utilizado como referência para as comparações. Este suporte foi eleito como referência, pois inicialmente foi considerado pela autora como a melhor solução, porém isto sem comprovação. Para seleção da melhor opção são utilizados os seguintes critérios: Facilidade de fabricação, facilidade de manutenção, peso, resistência mecânica, durabilidade, resistência mecânica a ventos, e possibilidade de tomada de ar entre brise-soleil e a edificação.

Tabela 22 - Matriz de seleção dos conceitos

CRITÉRIOS DE SELEÇÃO	<i>Suporte I</i>	<i>Suporte II</i>	<i>Suporte III</i>	<i>Suporte IV</i>
Facilidade Fabricação	0	0	0	0
Facilidade Manutenção	0	0	0	0
Peso	0	+	0	-
Resistência Mecânica	+	-	0	+
Durabilidade	0	-	0	0
Resistência Mecânica a Ventos.	+	-	0	+
Permitir tomada de ar entre brise-soleil e edificação.	-	+	0	-
Somatório +	2	2	0	2
Somatório 0	4	2	7	3
Somatório -	1	3	0	2
Pontuação	1	-1	0	0
RANK	1	3	2	2
CONTINUA?	SIM	NÃO	SIM	SIM

Fonte: Autora

Depois, é realizado o refinamento da matriz, onde a pontuação de desempenho (Tabela 23) deve ser atribuída para comparação entre soluções, conforme adaptações realizadas. A avaliação para pontuação está a critério do projetista. Porque nesta etapa do projeto, o projetista ou a equipe já consolidou conhecimento suficiente sobre o problema em questão, para poder tomar decisões com mais autonomia.

Tabela 23 - Pontuação de desempenho

DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
Muito Ruim	1
Ruim	2
Bom	3
Melhor	4
Muito melhor	5

Fonte: Adaptado de ULRICH e EPPINGER (2012)

Na Tabela 24, em seguida, é exposta a matriz de refinamento, que apontará qual solução deve ser desenvolvida para aplicação no projeto final.

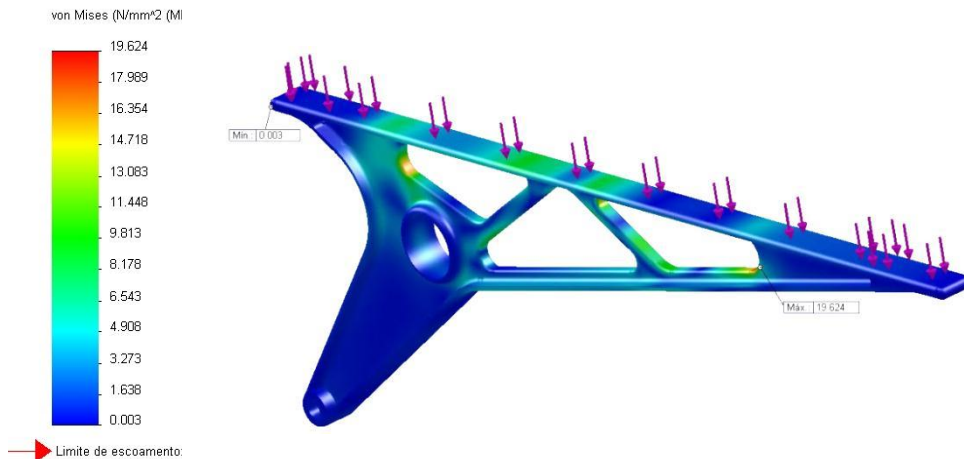
Tabela 24 - Matriz de refinamento adaptada

CRITERIOS DE SELEÇÃO	PESO	SUPORTE I		SUPORTE III		SUPORTE IV	
		Pont.	Mult.	Pont.	Mult.	Pont.	Mult.
Facilidade Fabricação	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Facilidade Manutenção	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Peso	10%	3	0,30	4	0,40	2	0,20
Resistência Mecânica	25%	5	1,25	3	0,75	5	1,25
Resistência Mecânica a Ventos.	25%	5	1,25	3	0,75	5	1,25
Permitir tomada de ar entre brise-soleil e edificação.	25%	1	0,25	5	1,25	1	0,25
Pontuação	100%	3,35		3,45		3,25	
RANK		2		1		3	
Continua?		NÃO		DESENVOLVER		NÃO	

Fonte: Autora

Dentre as opções ranqueadas, o suporte III foi identificado como a melhor solução para aplicação no projeto. Isto ocorreu, principalmente, pelo design que permite maior tomada de ar entre o brise-soleil e a edificação. Pois, o centro de encaixe do suporte encontra-se mais próximo da extremidade, o quê permite maior afastamento do objeto em relação ao plano de vidro do edifício. Porém, nota-se que esta solução deve ser melhorada, em vista a tensão-deformação de $23,8 \text{ N/mm}^2$, que está aproxima ao limite de escoamento de $27,57 \text{ N/mm}^2$. Logo, para maior segurança no projeto, foram realizados ajustes nas bordas internas dos recortes do suporte, que em nova avaliação, apresentaram tensões máximas de $19,62 \text{ N/mm}^2$, o que contribuiu para validação da opção (Figura 44).

Figura 44 - Suporte III: alterações nas bordas internas para maior resistência mecânica



Fonte: Autora

3.1.7 Projeto final

Nos tópicos a abaixo são exibidos os componente e os detalhes de projeto elaborados:

1. Barra cilíndrica horizontal de apoio aos suportes;

O suporte lateral, selecionado na matriz de refinamento, é encaixado em barra de cilíndrica de Alumínio 1060 de dimensões de 1480 mm (comprimento) x 50 mm (diâmetro externo) x 5 mm (espessura), com peso aproximado de 2800 gramas (conforme Figura 45). O conjunto abaixo possui aproximadamente 5800 gramas.

Figura 45 - Suportes laterais encaixados em barra cilíndrica horizontal



Fonte: Autora

2. Pino de encaixe da barra cilíndrica horizontal;

A peça com pino para encaixe reforça o ponto onde é apoiado o suporte à barra cilíndrica horizontal. Os esforços gerados pelo peso do módulo fotovoltaico, do suporte e da própria barra são transferidos para essa peça (Figura 46), em ambas as extremidades da barra, na qual o ponto crítico de deformação e ruptura encontra-se no pinto de 10 mm de diâmetro.

Figura 46 - Peça de encaixe entre barra cilíndrica e apoio vertical



Fonte: Autora

Devido aos esforços serem transferidos conforme supracitado, inicialmente, foi proposto à utilização da liga de Aço 1020 no projeto dessa peça (Tabela 25). Porém, em simulação virtual do protótipo, com carga de 500 N, foi verificado que a tensão limite alcança máxima de 18,6 N/mm², valor bastante inferior ao limite de escoamento da liga de Aço 1020 (351,6 N/mm², Figura 47), e também da liga de Alumínio 1060 (27,6 N/mm², Figura 48).

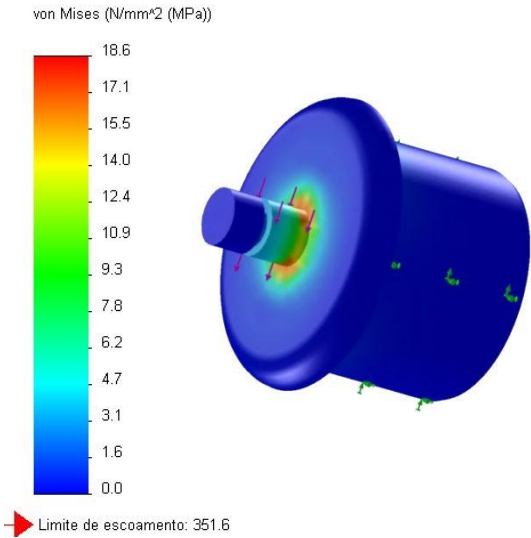
Logo, a peça poderia ser fabricada em ambos os materiais, onde os testes desses, são exibidos abaixo.

Tabela 25 - Algumas propriedades da liga de aço 1020

PROPRIEDADE	VALOR	UNIDADES
Módulo Elástico	200000	N/mm ²
Densidade	79000	Kg/m ³
Módulo de Cisalhamento	77000	N/mm ²
Limite de Escoamento	351,60	N/mm ²
Limite de Resistência a Tração (Ruptura)	420,50	N/mm ²

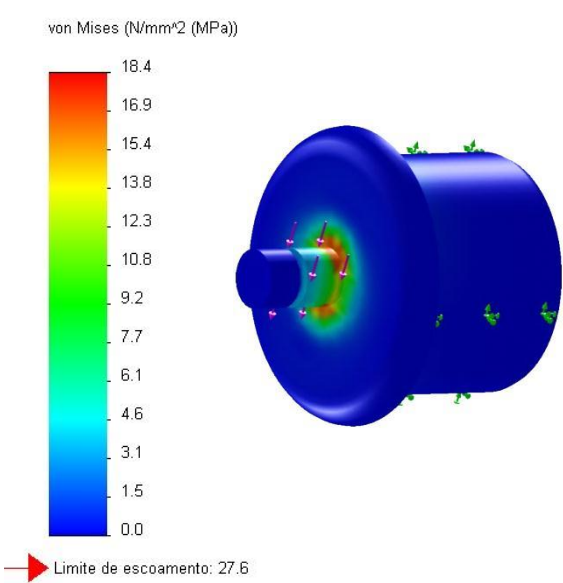
Fonte: Valores de referência retirados do Soliworks

Figura 47 - Tensões von mises, pino de encaixe em aço 1020



Fonte: Autora

Figura 48 - Tensões von mises, pino de encaixe em alumínio 1060



Fonte: Autora

3. Apoio vertical;

O conjunto fotovoltaico da Figura 49 é montado em apoio vertical com distância de 800 mm entre os centros dos pinos de encaixe de cada conjunto.

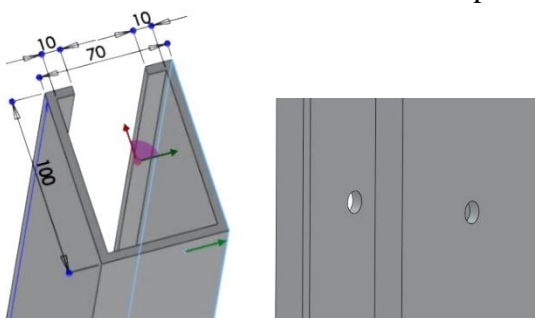
Figura 49 - Placa fotovoltaica montada em suporte e barra horizontal



Fonte: Autora

A barra de apoio vertical possui formado quadrado de dimensões de 100 x 70 mm, feita em Liga de Alumínio 1060 (Figura 50), com espessura de 5 mm, para colocação de 4 ou 5 conjuntos fotovoltaicos em cada lado. Os furos de encaixe possuem 11 mm de diâmetro. O comprimento de cada seguimento pode variar de acordo com o pé direito ou o tamanho do plano de vidro da cada edificação, assim como a quantidade de módulos encaixados.

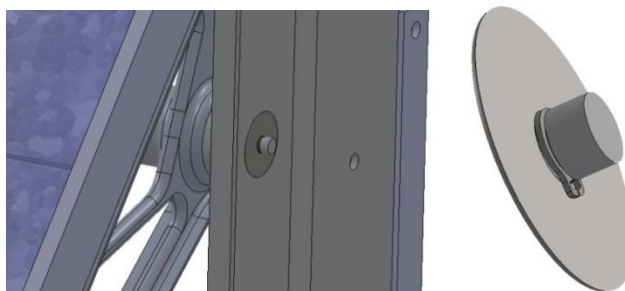
Figura 50 - Detalhe do formado e furo do apoio vertical



Fonte: Autora

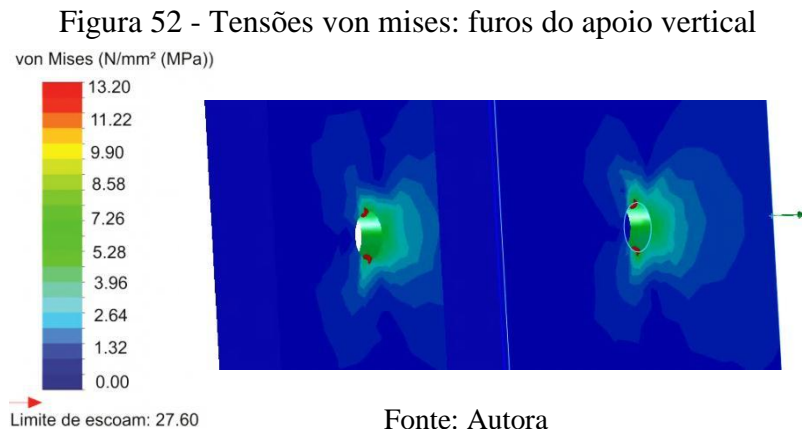
Abaixo é apresentado o detalhe para montagem entre o conjunto da Figura 49 e o apoio vertical da Figura 50, onde é utilizado arruela de trava ou retenção e anel elástico de fixação na parte interna da estrutura (Figura 51).

Figura 51 - Encaixe entre o conjunto fotovoltaico e apoio vertical



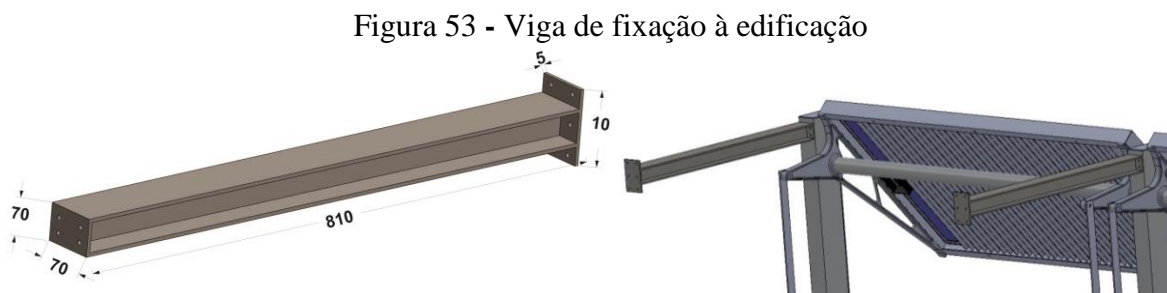
Fonte: Autora

No programa computacional Solidworks foram testados esforços de 500 N aplicados em cada furo de montagem, em ambos os lados do apoio (Figura 52). Foram constatadas tensões máximas de 13,20 N/mm², abaixo do limite de escoamento de 27,60 N/mm² da liga de Alumínio 1060, o que garante segurança aos encaixes. Portanto, a peça não apresentará deformações plásticas.



4. Viga em I para encaixe na edificação;

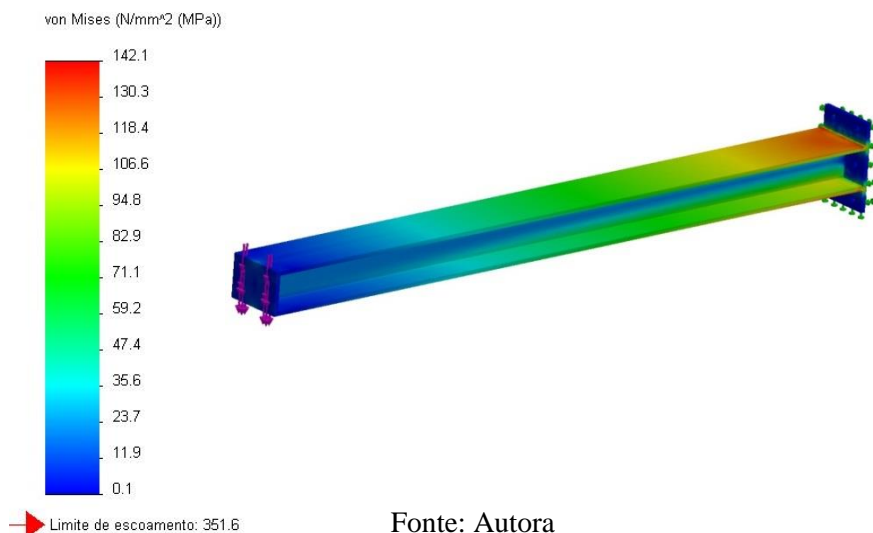
Para a fixação entre o brise-soleil e a edificação foi projetada viga de aço no formado I de 810 mm de comprimento, 70 mm de largura e 5 mm de espessura, onde a extremidade menor é fixada ao brise-soleil e a extremidade maior é parafusada na laje ou viga do edifício. Essa peça possui aproximadamente 6090 gramas (Figura 53).



Nesta peça foi proposta a utilização da Liga de Aço 1020 para construção mecânica. O aço 1020 possui carbono comum, seu custo benefício é bom, se comparado a aços similares, tendo excelente plasticidade e soldabilidade, muito utilizado na elaboração de componentes mecânicos e em algumas composições estruturais. Sua composição química varia de 18% a 23% de carbono; 30% a 60% de manganês; com até 3% de potássio e 5% de enxofre (GGD METAIS, 2014; ACELOR MITTAL, 2014).

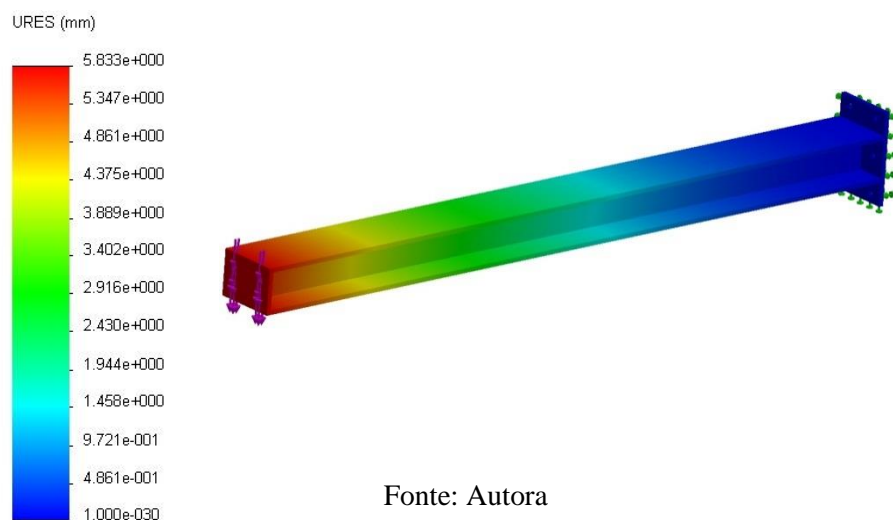
Cada apoio vertical do brise-soleil possui duas vigas de aço, que são parafusadas nas lajes da edificação. Como supracitado, em cada apoio vertical são encaixados 4 ou 5 módulos fotovoltaicos, no lado esquerdo e direito, totalizando 8 ou 10 fotovoltaicos nos conjuntos. Logo, se considerados os esforços de 500 N aplicados em cada furo do apoio vertical, são somadas cargas 5000 N ao longo do seguimento, que são transferidas e subdivididas para duas vigas de aço. Assim, em situações de rajadas de ventos, uma viga deve suportar em média 2500 N, na extremidade parafusada ao brise-soleil. Deste modo, foram simulados esforços de 2500 N na extremidade da viga em I, conforme Figura 54. Na simulação foram verificadas tensões máximas de deformação de 142,1N/mm², valor abaixo do limite de escoamento do Aço 1020 (351,6 N/mm²). Logo esta peça, não sofrerá deformações plásticas como projetada, limitando-se a deformações elásticas e ao descolamento estático máximo de aproximadamente 6 mm (Figura 55).

Figura 54 - Tensões von mises: viga de aço do *brise-soleil*



Fonte: Autora

Figura 55 - Deslocamento estático: viga de aço do *brise-soleil*

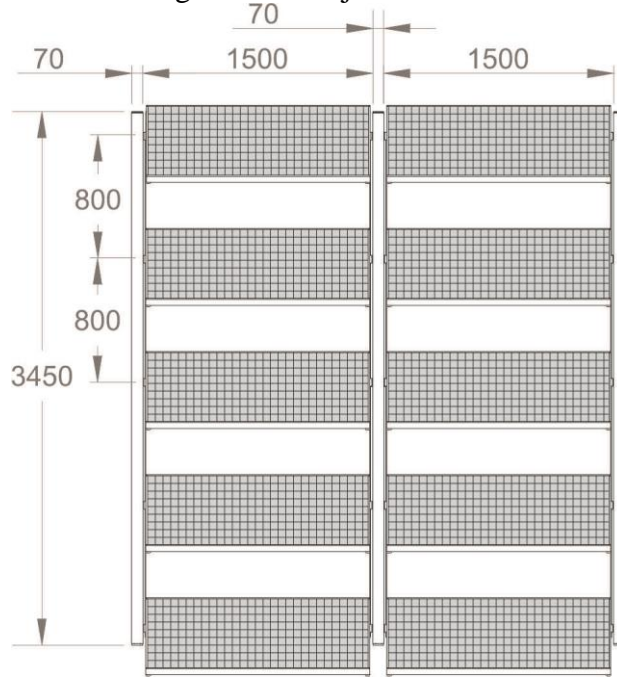


Fonte: Autora

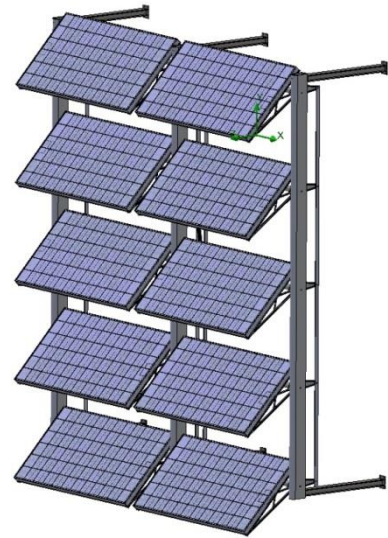
5. Montagem dos componentes.

A seguir (Figura 56), é apresentado o projeto final do *brise-soleil* fotovoltaico com seus componentes montados, em escala 1/50.

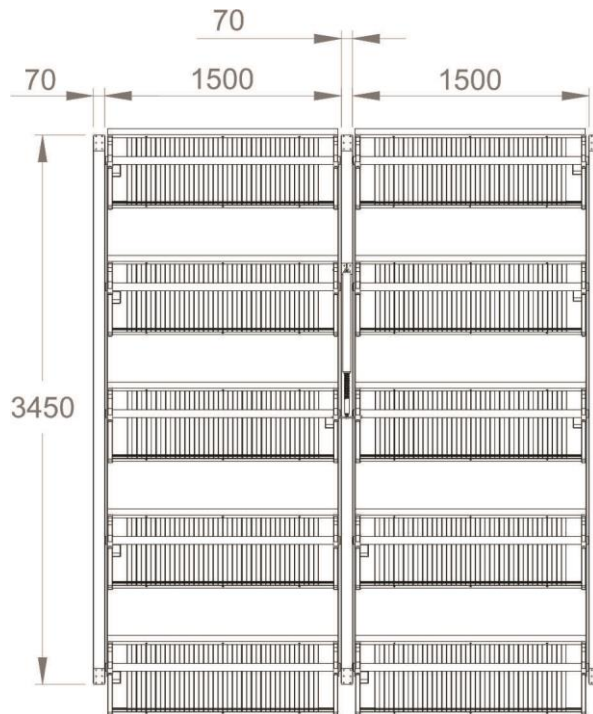
Figura 56 - Projeto *brise-soleil* fotovoltaico -01: escala 1/50



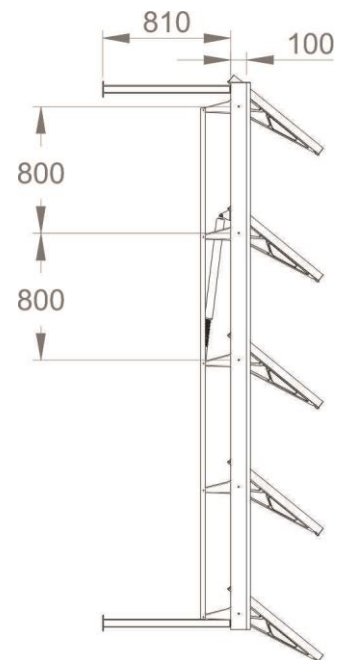
Vista Frontal – 1/50



Isométrica Frontal



Vista Posterior – 1/50

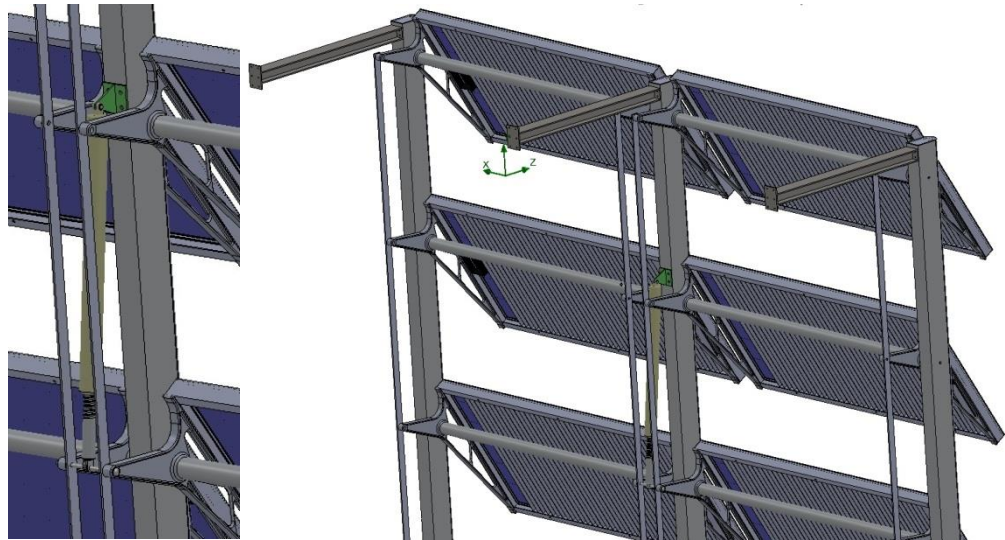


Lateral Direita - 1/50

Fonte: Autora

Por fim, destaca-se aqui, a sugestão para uso de motor pivotante com pistão (Figura 57), a fim de garantir o deslocamento das placas fotovoltaicas em até 90°. Este motor assemelha-se aos utilizados em abertura de portões automáticos, sendo um componente escolhido em catálogo de fabricante especializado.

Figura 57 - Parte posterior: motor pivotante com pistão



Fonte: Autora

Como conclusão deste tópico, é importante enfatizar que o projeto do *brise-soleil* fotovoltaico buscou incorporar características sustentáveis. Isto devido ao direcionamento abordado na simplicidade projetual das peças e dos encaixes, que facilitam a montagem e desmontagem; na utilização de materiais combatíveis e com potencialidade de reciclagem, como o alumínio; e na opção por ligações físicas e não químicas; além do uso da energia renovável. Por fim, destaca-se também incorporação da inovação incremental corresponde as aletas para dissipação, colocadas na parte posterior do módulo fotovoltaico.

3.2 EXPERIMENTO COM CÂMERA TERMOGRÁFICA

Como visto anteriormente, para o aumento da eficiência do módulo fotovoltaico é necessária à utilização de recursos que permitam a diminuição da temperatura. Portanto, durante o projeto do *brise-soleil* foi proposto mecanismo para dissipação de calor. Para validação desta proposição, foram realizadas experimentações com perfis de alumínio formando aletas dissipadoras na superfície posterior do módulo fotovoltaico. Nestas experimentações foram empregados os componentes listados a seguir:

1. *Módulo fotovoltaico*: Módulo de silício policristalino da Empresa BP Solar, modelo SX 120 U, dimensões 1461 mm, 731 mm e 50 mm, com potência de 120 W em condições ideais de radiação solar de 1 kW/m² e temperatura de 25 C° (Figura 58),

Figura 58 - BP Solar, SX 120U



Fonte: Autora

2. *Perfis em alumínio*: Perfis em alumínio no formato U duplo de dimensões 30 mm (altura) x 60 mm (largura total) x 1,5 mm (espessura), encaixados paralelamente para formação das aletas de dissipação (Figura 59).

Figura 59 - Perfis em alumínio unidos para formação de dissipador



Fonte: Autora

3. *Fita térmica para medição*: Fita Unidex de teflon para medição térmica, da empresa Varixx (Figura 60). Esta fita é colocada sobre o alumínio para o controle da emissividade do material, assim, é possível realizar medições mais precisas de temperatura com câmeras termográficas.

Figura 60 - Fita térmica Unidex



Fonte: Autora

4. *Câmera termográfica*: Câmera de infravermelho que registra imagens com variações de temperatura. No trabalho foi utilizado o modelo Fluke TI 100 de uso geral. Este equipamento possui ponteira laser que capta variações de temperatura entre -20°C e $+250^{\circ}\text{C}$ e deve ser posicionado a uma distância mínima de 1,2 metros para focagem (Figura 61).

Figura 61 - Câmera termográfica Fluke TI 100



Fonte: FLUKE (2014). Disponível em <<http://www.fluke.com/fluke/m2pt/camaras-termograficas/Ti100.htm?PID=73895>>. Acesso em janeiro de 2014

Para a realização da experimentação, primeiramente, foram colocados perfis de alumínio encaixados diretamente na superfície posterior a placa, deixando apenas um espaço sem o arranjo, para medição de alvos com e sem as aletas de dissipação. Em seguida, logo após a montagem dos perfis, o módulo fotovoltaico foi instalado, em suporte apropriado, na

usina fotovoltaica da Universidade Federal de Juiz de Fora, onde foram realizadas tomadas de temperatura com câmera termográfica na superfície frontal e posterior, em dois dias de experimentação, em horário próximo às 12h00 h (horário de maior radiação solar), sendo realizada uma experimentação por dia, conforme exposição da Figura 62.

Foram retiradas imagens térmicas das duas superfícies supracitadas, na direita e na esquerda de cada superfície, totalizando 4 imagens térmicas, por experimentação, das áreas com e sem as aletas de dissipação. Destaca-se a utilização de fita termográfica em teflon no alvo de alumínio para controle da emissividade do material.

Figura 62 - Medição de temperatura no módulo fotovoltaico



Fonte: Autora

3.2.1 Considerações sobre emissividade

Todos os objetos acima do zero absoluto irradiam energia eletromagnética na forma de infravermelho. Ao existir a incidência de energia sobre um objeto, constata-se a ocorrência de diversos fenômenos: absorção, reflexão, e transmissão. Assim, a soma da energia dos efeitos deve ser igual ao total da energia incidente. Ao aquecer um material, sempre ocorrerá a emissão de energia em infravermelho, sendo o emissor ideal denominado de corpo negro (ÇENGEL e GHAJAR, 2011, VARIXX, 2013).

No entanto, observa-se que materiais diferentes podem emitir quantidades de infravermelho diferentes, mesmo em temperaturas iguais. Este fato pode acarretar medições erradas em câmeras termográficas, quando são fotografados diversos materiais.

De acordo com Çengel e Ghajar (2011), intende-se por emissividade, a quantidade de radiação emitida por um material a uma determinada temperatura, pela radiação emitida pelo corpo negro à mesma temperatura. Portanto, para realização da experiência com câmera termográfica, foram verificados os índices de emissividade do alumínio (correspondente a

0,13) (VARIXX, 2013), do vidro do módulo (correspondente a 0,92), e do Tedlar® (correspondente a 0,90 - filme polímero utilizado no acabamento posterior do fotovoltaico) (SANTOS JÚNIOR, 2008; DUPONT, 2011). Para a equiparação entre os índices de emissividade dos materiais, foi aplicada fita em teflon no alvo de alumínio (Figura 63), para aproximação em 0,95, possibilitando que os materiais mantenham índices próximos para medição (VARIXX, 2013).

Figura 63 - Experiência com câmera termográfica



Fonte: Autora

3.2.2 Medição: 20/03/2014 (11h00 h às 12h00 h)

Na Figura 64, foi retratada a parte posterior do módulo sem as aletas de alumínio. Constatam-se variação de temperatura entre 53,5°C a 56,8°C no retângulo central fotografado. O alvo no centro apresenta a temperatura de 54,9°C. Já na Figura 65, observa-se a imagem das aletas de alumínio que compõem o dissipador de calor. Verifica-se variação de temperatura entre 46,8°C a 48,5°C na área correspondente ao retângulo fotografado. No ponto alvo, nota-se a presença da fita em teflon Unidex, na qual, a temperatura registrada é de 48,2°C.

A Tabela 26 exhibe os valores das temperaturas obtidas na parte posterior.

Tabela 26 - Medidas câmera termográfica 01 – 20/03/2014

TEMPERATURAS PARTE POSTERIOR DO MÓDULO FOTOVOLTAICO				
<i>Imagens</i>	<i>Temperatura Mínima</i>	<i>Temperatura Máxima</i>	<i>Temperatura Média</i>	<i>Ponto Alvo de Medição</i>
Figura 64 Sem Aletas	53,5°C	56,8°C	55°C	54,9°C
Figura 65 Com Aletas	46,8°C	48,5°C	47,5°C	48,2°C

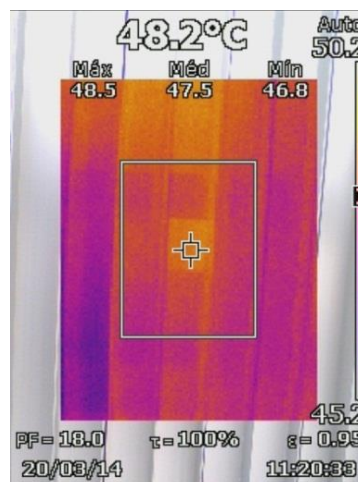
Fonte: Autora

Figura 65 - Medida posterior -
sem aletas (20/03/2014)



Fonte: Autora

Figura 64 - Medida posterior -
com aletas (20/03/2014)



Fonte: Autora

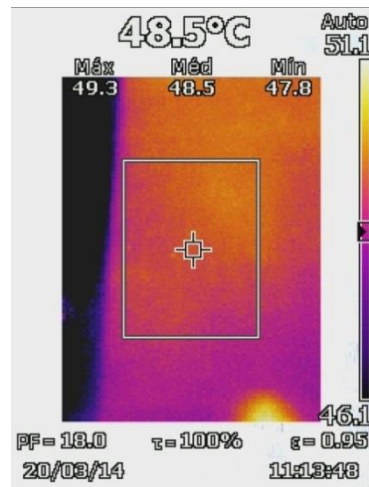
Na parte frontal, onde a superfície posterior está sem as aletas, constata-se variação de temperatura entre 47,8°C a 49,3°C na área do retângulo central fotografado (figura 67). No ponto alvo de medição, verificou-se a temperatura de 48,5°C. A parte mais escura da imagem, com temperatura equivalente a 46,1°C, corresponde à faixa de transição entre as áreas com e sem as aletas. Já a figura 68 retrata variação de temperatura entre 42,1°C a 45,3°C na área retângulo central fotografado. Nesta região, o ponto alvo encontra-se a 43°C, onde as aletas estão colocadas na parte posterior. A tabela 27 apresenta os valores das temperaturas na parte frontal.

Tabela 27 - Medidas câmera termográfica 02 – 20/03/2014

TEMPERATURAS PARTE FRONTAL DO MÓDULO FOTOVOLTAICO				
<i>Imagens</i>	<i>Temperatura Mínima</i>	<i>Temperatura Máxima</i>	<i>Temperatura Média</i>	<i>Ponto Alvo de Medição</i>
Figura 66 Sem Aletas	47,8°C	49,3°C	48,5°C	48,5°C
Figura 67 Com Aletas	42,1°C	45,3°C	43,3°C	43,0°C

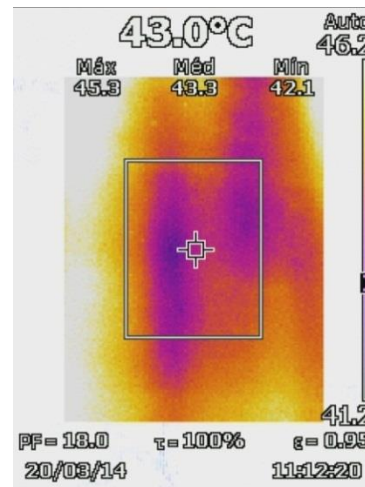
Fonte: Autora

Figura 67 - Medida frontal - sem aletas (20/03/2014)



Fonte: Autora

Figura 66 - Medida frontal - com aletas (20/03/2014)



Fonte: Autora

3.2.3 Medição: 27/05/2014 (11h00 h às 12h00 h)

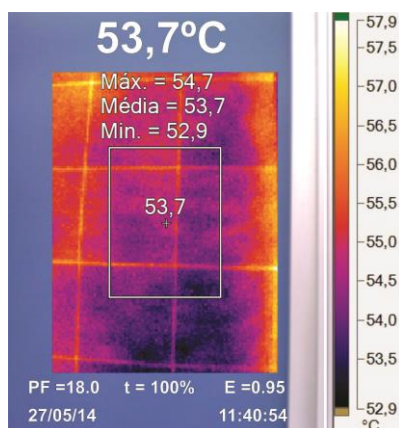
Na parte posterior sem as aletas foi registrada variação de temperatura entre 52,9°C a 54,7°C no retângulo central da Figura 68. O ponto alvo da imagem encontrava-se a 53,7°C. Nas aletas de alumínio foi constatada variação de 40,2°C a 42,5°C na área correspondente do retângulo da Figura 69. Já no alvo da imagem foi registrada temperatura de 42,1°C, onde está aplicada a fita termográfica Unidex. A Tabela 28 apresentada às temperaturas para comparação.

Tabela 28 - Medidas câmera termográfica 01 – 27/05/2014

TEMPERATURAS PARTE POSTERIOR DO MÓDULO FOTOVOLTAICO				
<i>Imagens</i>	<i>Temperatura Mínima</i>	<i>Temperatura Máxima</i>	<i>Temperatura Média</i>	<i>Ponto Alvo de Medição</i>
Figura 68 Sem Aletas	52,9°C	54,7°C	53,7°C	53,7°C
Figura 69 Com Aletas	40,2°C	45,8°C	41,4°C	42,1°C

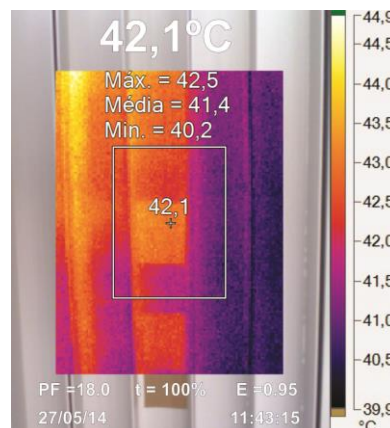
Fonte: Autora

Figura 69 - Medida posterior - sem aletas (27/05/2014)



Fonte: Autora

Figura 68 - Medida Posterior - com aletas (27/05/2014)



Fonte: Autora

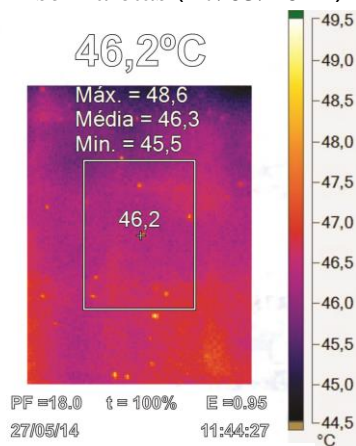
Na parte frontal, a área do retângulo demarcado da Figura 70 apresentou variação de temperatura de 45,5°C a 48,6°C. No alvo da imagem foi registrada temperatura de 46,2°C. Ressalta-se que na figura x não estavam posicionadas as aletas no fotovoltaico. No retângulo central da Figura 71, onde estão posicionadas as aletas atrás do módulo, foi verificado variação de temperatura entre 41,8°C a 45,8°C. O ponto demarcado apresenta temperatura de 42,6°C.

Tabela 29 - Medidas câmera termográfica 02 – 27/05/2014

TEMPERATURAS PARTE FRONTAL DO MÓDULO FOTOVOLTAICO				
<i>Imagens</i>	<i>Temperatura Mínima</i>	<i>Temperatura Máxima</i>	<i>Temperatura Média</i>	<i>Ponto Alvo de Medição</i>
Figura 70 Sem Aletas	45,5°C	48,6°C	46,3°C	46,2°C
Figura 71 Com Aletas	41,8°C	45,8°C	43,1°C	42,6°C

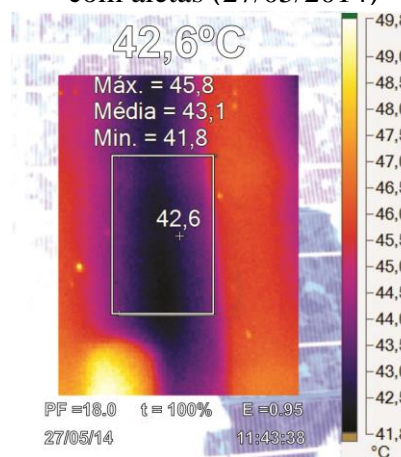
Fonte: Autora

Figura 71 - Medida frontal - sem aletas (27/05/2014)



Fonte: Autora

Figura 70 - Medida frontal - com aletas (27/05/2014)



Fonte: Autora

3.2.4 Conclusões experimentação

Mediante os dados obtidos, constatou-se que a colocação das aletas favorece a redução de temperatura na superfície frontal, e conseqüentemente no conjunto, uma vez que, o calor é transferido por condução interna e posteriormente dissipado por convecção natural nas aletas. Ressalta-se que, baseado na revisão de literatura realizada, a redução de temperatura contribui para o aumento da eficiência energética. Portanto, a colocação de aletas é válida para o aumento da eficiência. Nas medições do dia 20/03/2014 foi verificada a redução de 5,2°C de temperatura, em pontos distintos da placa fotovoltaica, após a colocação das aletas, se comparados os alvos das imagens frontais 66 e 67. Na experimentação do dia 27/05/2014 foi registrada redução de 3,6°C nos alvos das imagens frontais 70 e 71. Nas imagens termográficas, 66, 67 e 71 constatam-se faixas de cor arroxeadas, sinalizando o contato das aletas com a parte posterior do módulo. Nessas áreas, onde as superfícies dos materiais estiveram em maior contato, foi observada a redução de temperatura supracitada. Portanto, verificou-se que para melhor transferência de calor, as aletas devem estar bem encaixadas, em contato adequado com a superfície do objeto a ser resfriado. Por fim, destaca-se que a experimentação possui o objetivo de confirmação deste conceito levantado e não mensuração do aumento da eficiência energética.

3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO RTQ-C: SITUAÇÃO ATUAL

Foi demonstrada a aplicabilidade do uso do produto por meio de estudo realizado no edifício da Justiça Federal, localizado na cidade de Juiz de Fora. No estudo, foi avaliada a eficiência energética da edificação através do método prescritivo RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais de Serviço e Públicos). Na qual, foram comparadas as classificações obtidas na situação atual e em situação hipotética, onde foi simulada a colocação do *brise-soleil* fotovoltaico, na fachada norte. Portanto, por meio de comparações numéricas e qualitativas, é possível identificar possíveis melhorias no consumo e rendimento energético da edificação, caso colocado o produto.

Para melhor esclarecimento, observa-se que o RTQ-C (2010) é utilizado em edificações com área útil total mínima de 500 m² ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV, incluindo edificações condicionadas ou não, onde são classificados os sistemas

Figura 74 - Fotos fachada edifício da Justiça Federal - 02



Fonte: Autora

3.3.1 Determinação da Eficiência da Envoltória

De acordo com o RTQ-C (2010), a envoltória da edificação pode ser compreendida pelo conjunto de elementos, situados acima do nível do solo, que fazem contato direto entre os ambientes internos do edifício e os ambientes externos. Estes elementos são formados pelas paredes e cobertura, incluindo os fechamentos envidraçados e os elementos de sombreamento dos pavimentos de permanência prolongada. Portanto, não são considerados para o cálculo da eficiência da envoltória as áreas dos ambientes de curta permanência, que se situam no subsolo ou subsolo semi-enterrado, assim como, áreas de curta permanência situadas no térreo ou cobertura que não possam entradas condicionadas.

Deste modo, primeiramente, para a determinação da eficiência da envoltória alguns pré-requisitos são exigidos no item 3.1 do manual RTQ-C, (2010): transmitância térmica, absorptância de superfícies e iluminação zenital. As exigências dos pré-requisitos variam de acordo com a classificação dos níveis. Logo, a não observação de algum desses já classifica a envoltória (tabela 30), mesmo nos casos que, numericamente, o cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória (IC env) apresente classificações em níveis superiores. Destaca-se que as variantes numéricas dos pré-requisitos estão relacionadas às oito zonas bioclimáticas descritas na NBR 15.220 (2003).

Tabela 30 - Tabela síntese dos pré-requisitos da envoltória

NÍVEL DE EFICIÊNCIA	<i>Transmitância Térmica (Paredes e Cobertura)</i>	<i>Cores e Absorptância das Superfícies.</i>	<i>Requisitos caso houver Iluminação Zenital.</i>
A	X	X	X
B	X	X	
C e D	X		

Fonte: Adaptado do manual para uso do RTQ-C

Posteriormente a identificação da zona bioclimática e a análise dos pré-requisitos, realiza-se o cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória (IC env) segundo equação específica para cada localidade, indicada no manual.

3.3.1.1 Pré-requisitos da envoltória, edifício da Justiça Federal

De acordo com a NBR 15220 (2003), a cidade de Juiz de Fora está localizada na Zona Bioclimática 3. Nas tabelas 31 e 32 são apresentados os limites numéricos máximos de classificação para as paredes e a cobertura (superfícies opacas) referentes aos pré-requisitos específicos para esta zona no RTQ-C (2010).

Tabela 31 - Transmitância térmica

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA ZONA BIOCLIMÁTICA 3			
<i>Níveis</i>	<i>Paredes Externas</i>	<i>Cobertura Ambientes Conicionados</i>	<i>Cobertura Ambientes não Conicionados</i>
A	3,7 W/m ² K	2,0 W/m ² K	1,0 W/m ² K
B	3,7 W/m ² K	2,0 W/m ² K	1,5 W/m ² K
C e D	3,7 W/m ² K	2,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K

Fonte: Adaptado do RTQ-C (2010)

Tabela 32 - Cores e absordância zona bioclimática 3

CORES E ABSORTÂNCIA ZONA BIOCLIMÁTICA 3		
<i>Níveis</i>	<i>Materiais Paredes Externas (α do espectro solar)</i>	<i>Materiais Cobertura</i>
A	$\alpha < 0,5$	$\alpha < 0,5$
B	-	$\alpha < 0,5$
C e D	-	-

Fonte: Adaptado do RTQ-C (2010)

Para consulta das características térmicas dos elementos arquitetônicos da edificação, foi utilizado o Anexo Geral V (Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros) da Portaria nº50 / 2013 do Inmetro e o Manual para Uso do RTQ-C (Método Prescritivo) Versão 1.0. Logo, foi montada a tabela 33, com as propriedades térmicas das paredes externas e cobertura.

Tabela 33 - Verificação de pré-requisitos envoltória elementos opacos (áreas condicionadas)

	MATERIAL	TRANSMITÂNCIA	ABSORTÂNCIA
<i>Paredes Externas</i>	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico (14x19x29 cm), argamassa externa (2,5cm) com pintura externa escura.	1,74 W/(m²K)	$\alpha = 44,9$
<i>Cobertura</i>	Forro Térmico (1 cm), laje nervurada, contrapiso (2 cm), piso cerâmico.	2,00 W/(m²K)	$\alpha = 0,37$

Fonte: Adaptado, Inmetro (Portaria nº50/2013) e manual para uso do RTQ-C (versão 1.0)

Em vista aos parâmetros consultados, conclui-se que os pré-requisitos estão limitados ao nível B. Assim, a análise numérica a seguir estará estrita a classificação máxima nível B, caso a edificação receba pontuações máximas em envoltória.

3.3.1.2 Cálculo do consumo da envoltória, edifício da Justiça Federal

Para cada Zona Bioclimática da NBR 15.220 (2003), o RTQ-C (2010) disponibiliza duas opções de equações. Neste caso, deve-se escolher a equação adequada, de acordo com a área total da edificação. Portanto, para a classificação do prédio da Justiça Federal é utilizada a Equação 3.6 do item 3.3, por ser destinada a edificações com área total superior a 500 m².

Equação 2 - Indicador de consumo da envoltória, zona bioclimática 3, para área superiores a 500m²

$$IC_{env} = - (14,14 \times FA) - (113,94 \times FF) + (50,82 \times PAFT) + (4,86 \times FS) - (0,32 \times AVS) + (0,26 \times AHS) - (35,75 / FF) - (0,54 \times PAFT \times AHS) + 277,98.$$

Fonte: RTQ-C (2010)

A Equação 2 apresenta as seguintes variáveis listadas:

1. *Fator de Altura (FA)*: Razão entre a Área de Projeção da Cobertura e Área Total Construídas, com exceção das áreas de subsolo;
2. *Fator de Forma (FF)*: Razão entre a Área Total da Envoltória e o Volume Total da Edificação;
3. *Percentual de Área de Abertura na Fachada Oeste (PAFO %)*: É calculado pela razão entre a soma das Áreas de Aberturas Envidraçadas, ou com fechamento transparente ou

translúcido, da fachada oeste e Área Total da Fachada Oeste. Esta variável é utilizada casos seja 20% maior que a PAFT;

4. *Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFT %)*: É calculado pela razão entre a soma entre as Áreas Total de Abertura Envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, da cada fachada e Área Total das Fachadas;
5. *Fator Solar (FS)*: De acordo com RTQ-C (2010), é a razão entre o ganho de calor que entra num ambiente, através de uma superfície envidraçada e a radiação solar incidente nessa mesma superfície. Assim, inclui o calor radiante transmitido pelos vidros. A ISO 15099:2003 e a ISO 9050:2003 mostra os procedimentos para o cálculo dessa variável, porém esse valor vem especificado pelos fabricantes de envidraçados;
6. *Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)*: Ângulo formado por proteções solares verticais e as superfícies envidraçadas protegidas;
7. *Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)*: Ângulos formados por proteções horizontais e as superfícies envidraçadas protegidas;

Em virtude das variáveis supracitadas nessa equação, é necessário realizar a quantificação dos itens abaixo:

1. *Área Total Construída (A_{tot})*: Somatório de todas as áreas de todos os ambientes fechados da edificação (para cálculo da envoltória, não incluir o subsolo);
2. *Área de Projeção da Cobertura (A_{pcob})*: Área da projeção horizontal da cobertura. Incluem terraço coberto e descoberto e excluem beirais, marquises e coberturas sobre varanda. Porém beirais e marquises são descontados caso estejam fora do alinhamento da edificação;
3. *Área da Envoltória (A_{env})*: Somatório das áreas das fachadas e cobertura, incluído as aberturas;
4. *Área Total de Envidraçados*: Somatório de todas as aberturas com envidraçados da edificação;
5. *Área Total Fachada Oeste*: Fachada voltada para a direção 270° em sentido horário a contar do norte geográfico ou cuja variação não ultrapasse +45° ou -45° dessa orientação;
6. *Área total de Fachadas*: Somatório da área de empena de todas as fachadas;

7. *Área Total de Envidraçados Oeste;*
8. *Volume Total (V_{tot}):* Volume delimitado pelos fechamentos externos, excluindo áreas de pátios internos descobertos.

Logo, foram quantificadas as áreas da edificação como demonstrado na Tabela 34. Em Anexo, são expostos os desenhos das fachadas e as plantas do prédio da Justiça Federal, para melhor compreensão.

Tabela 34 - Quantificação das áreas Justiça Federal

QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DA EDIFICAÇÃO	
Área Total Construída (sem subsolo)	3.899,54 m ²
Área da Projeção da Cobertura	881,50 m ²
Área da Envoltória	3.383,88 m ²
Área Total de Envidraçados	1.333,90 m ²
Área de Envidraçados Oeste	176,6 m ²
Área de Envidraçados Norte	389,25 m ²
Área de Envidraçados Leste	379 m ²
Área de Envidraçados Sul	389,25 m ²
Área Fachada Norte	623,89 m ²
Área Fachada Oeste	627,30 m ²
Área Fachada Sul	623,89 m ²
Área Fachada Leste	627,30 m ²
Área Total Fachadas	2.502,38 m ²
Volume Total	1.4053,3 m ³

Fonte: Autora

Posteriormente, foi realizado o cálculo dos coeficientes da equação da envoltória para a zona bioclimática 3, individualmente.

Cálculo dos Coeficientes da Equação da Envoltória para Zona Bioclimática 3

Equação 4 - Fator de altura

FATOR DE ALTURA (FA):
$FA = \frac{\text{ÁREA DA PROJEÇÃO COBERTURA}}{\text{ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA}}$ (sem subsolo)
Área Total Construída = 3899,54 m ²
Área da Projeção da Cobertura = 881,50 m ²
$FA = \frac{881,50}{3899,54}$
FA = 0,23

Equação 3 - Fator de forma

FATOR DE FORMA (FF):
$FF = \frac{\text{ÁREA DA ENVOLTÓRIA TOTAL}}{\text{VOLUME}}$
Área Total da Envoltória = 3383,88 m ²
Volume total da Edificação = 14.053,3m ³
$FF = \frac{3389,88}{14.053,3}$
FF = 0,24

Equação 6 - PAFT

PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA NA FACHADA TOTAL (PAFT%):
$PAFT = \frac{\text{ÁREA TOTAL ENVIDRAÇADA}}{\text{ÁREA TOTAL DE FACHADAS}}$
Área Total de Envidraçados = 1333,90 m ²
Área Total de Fachadas = 2502,38 m ²
$PAFT = \frac{1333,90}{2502,38}$
PAFT = 0,53

Equação 5 - PAFO

PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA NA FACHADA OESTE (PAFO%):
$PAFO = \frac{\text{ÁREA ENVIDRAÇADA OESTE}}{\text{ÁREA TOTAL ENVIDRAÇADA}}$
Área de Envidraçados Oeste = 176,6 m ²
Área Total de Envidraçados = 1333,90 m ²
$PAFO = \frac{176,6}{1333,9}$
PAFO = 0,13

Equação 7 - Ângulo horizontal de sombreamento

ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO (AHS)
(Para maiores explicações consultar o Manual para Uso do RTQ-C)
$AHS = \frac{+(AHS_{\text{NORTE}} \times \text{ÁREA}_{\text{ABERTURA NORTE}}) + (AHS_{\text{LESTE}} \times \text{ÁREA}_{\text{ABERTURA LESTE}}) + (AHS_{\text{OESTE}} \times \text{ÁREA}_{\text{ABERTURA OESTE}}) + (AHS_{\text{SUL}} \times \text{ÁREA}_{\text{ABERTURA SUL}})}{\text{ÁREA TOTAL ABERTURAS}}$
$AHS = \frac{+(0 \times 389,25) + (0 \times 379) + (9,45 \times 176,60) + (0 \times 389,25)}{1333,90}$
AHS = 1,25

Cálculo dos Coeficientes da Equação da Envoltória para Zona Bioclimática 3

Equação 8 - Ângulo vertical de sombreamento

ÂNGUL VERTICAL DE SOMBREAMENTO (AVS)

(Para maiores explicações consultar o Manual para Uso do RTQ-C)

$$AVS = \frac{+(AVS_{\text{NORTE}} \times AREA_{\text{ABERTURA NORTE}}) + (AVS_{\text{LESTE}} \times AREA_{\text{ABERTURA LESTE}}) + (AVS_{\text{OESTE}} \times AREA_{\text{ABERTURA OESTE}}) + (AVS_{\text{SUL}} \times AREA_{\text{ABERTURA SUL}})}{AREA_{\text{TOTAL ABERTURAS}}}$$

$$AVS = \frac{+(0 \times 389,25) + (11,12 \times 379) + (0 \times 176,60) + (0 \times 389,25)}{1333,90}$$

$$AVS = 3,16$$

FATOR SOLAR (FS):

FS=0,40 (Valor Adotado segundo a Portaria do Inmetro N°50/2013, Anexo Geral V, Tabela de Vidros. Opção Vidro Laminado Verde B – com Película Reflexiva).

Dando prosseguimento ao estudo, são aplicados os coeficientes anteriormente encontrados (equação 9):

Equação 9 - Cálculo do indicador de consumo da envoltória

APLICAÇÃO DOS COEFICIENTES NA EQUAÇÃO 3.6 DO MANUAL

$$IC_{\text{env}} = - (14,14 \times FA) - (113,94 \times FF) + (50,82 \times PAFT) + (4,86 \times FS) - (0,32 \times AVS) + (0,26 \times AHS) - (35,75 / FF) - (0,54 \times PAFT \times AHS) + 277,98.$$

$$IC_{\text{env}} = - (14,14 \times 0,23) - (113,94 \times 0,24) + (50,82 \times 0,53) + (4,86 \times 0,40) - (0,32 \times 3,16) + (0,26 \times 1,25) - (35,75 / 0,24) - (0,54 \times 0,53 \times 1,25) + 277,98.$$

$$IC_{\text{env}} = 126,87$$

Fonte: Autora

Para avaliar o resultado obtido na Equação 3.6 é necessário encontrar os valores de referencia máximos e mínimos do Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}), a partir da aplicação dos coeficientes indicados pelo RTQ-C (2010), como mostrado na Tabela 35, na Equação 3.6. É importante ressaltar que os outros coeficientes provenientes da quantificação das áreas, FA e FF, são mantidos para comparação.

Tabela 35 - Parâmetros de referência / IC max. e IC min

COEFICIENTES DE REFERÊNCIA DO IC MÁXIMO			
PAFT	FS	AVS	AHS
0,6	0,61	0	0
COEFICIENTES DE REFERÊNCIA DO IC MÍNIMO			
PAFT	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Fonte: (RTQ-C, 2010)

Abaixo são demonstrados o IC_{max} (Equação 10) e IC_{min} (Equação 11), utilizando os coeficientes indicados na tabela anterior e o FA e FF encontrados.

Equação 10 - Cálculo indicador de consumo máximo

APLICAÇÃO DOS COEFICIENTES PARA IC_{max}.

$$\text{IC max} = - (14,14 \times \text{FA}) - (113,94 \times \text{FF}) + (50,82 \times \text{PAFT}) + (4,86 \times \text{FS}) - (0,32 \times \text{AVS}) + (0,26 \times \text{AHS}) - (35,75 / \text{FF}) - (0,54 \times \text{PAFT} \times \text{AHS}) + 277,98.$$

$$\text{IC max} = - (14,14 \times 0,23) - (113,94 \times 0,24) + (50,82 \times 0,6) + (4,86 \times 0,61) - (0,32 \times 0) + (0,26 \times 0) - (35,75 / 0,24) - (0,54 \times 0,6 \times 0) + 277,98.$$

$$\text{IC max} = 132,33$$

Fonte: Autora

Equação 11 - Cálculo indicador de consumo mínimo

APLICAÇÃO DOS COEFICIENTES PARA IC_{min}.

$$\text{IC min} = - (14,14 \times \text{FA}) - (113,94 \times \text{FF}) + (50,82 \times \text{PAFT}) + (4,86 \times \text{FS}) - (0,32 \times \text{AVS}) + (0,26 \times \text{AHS}) - (35,75 / \text{FF}) - (0,54 \times \text{PAFT} \times \text{AHS}) + 277,98.$$

$$\text{IC min} = - (14,14 \times 0,23) - (113,94 \times 0,24) + (50,82 \times 0,05) + (4,86 \times 0,87) - (0,32 \times 0) + (0,26 \times 0) - (35,75 / 0,24) - (0,54 \times 0,05 \times 0) + 277,98.$$

$$\text{IC min} = 105,65$$

Fonte: Autora

Após a obtenção do IC_{max} e IC_{min}, é necessário aplicá-los na Equação 3.13 do manual RTQ-C (2010) (Equação 12). Essa equação representa um intervalo numérico, que é aplicado em cada categoria de eficiência como apresentado na Tabela 36.

Equação 12 - Intervalo para cálculo de níveis

EQUAÇÃO 3.13 – INTERVALO (I):

$$I = \frac{IC_{\max} - IC_{\min}}{4}$$

Fonte: RTQ-C (2010)

Tabela 36 - Limites de cada nível de eficiência da envoltória

NÍVEIS DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA					
EFICIÊNCIA	A	B	C	D	E
IC min	-	IC max – 3i + 0,01	IC max -2i + 0,01	IC max – i + 0,01	IC max + 0,01
IC max	IC max -3i	IC max – 2i	IC max - i	IC max	-

Fonte: RTQ-C (2010)

Neste trabalho, o intervalo entre níveis de eficiência (I) corresponde a $I = 6,67$. Logo, os níveis de eficiência são caracterizados pelos intervalos numéricos da tabela 37

Tabela 37 - Limites numéricos dos níveis de eficiência da envoltória

NÍVEIS DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA					
EFICIÊNCIA	A	B	C	D	E
IC min	-	112,33	119,00	125,67	132,34
IC max	112,32	118,99	125,66	132,33	-

Fonte: RTQ-C (2010)

Como o Indicador de Consumo da Envoltória do edifício da Justiça Federal corresponde à $IC_{env} = 126,87$, assim essa edificação é classificada em Nível D de eficiência, neste item. Portanto, a proposta de aplicação de proteções verticais e horizontais torna-se válida para o melhoramento do desempenho e a mudança de nível, uma vez que, os coeficientes AVS e AHS interferem diretamente no indicador de consumo.

Por fim, observa-se na Figura 75 o resultado da simulação do IC_{env} realizada no programa Excel.

Figura 75 - Simulação no Excel do indicador de consumo da envoltória

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CÁLCULO DO CONSUMO DE ENVOLTÓRIA DO CONJUNTO										
2											
3											
4											
5	Variáveis	valor	IC_{maxD}	IC_{MIN}	Índice de consumo de envoltória $A_{pe}(m^2) > 500 m^2$ Limite: fator de forma mínimo = 0,15 $IC_{env} = -14,14*FA - 113,94*FF + 50,82*PAF_t(\%) + 4,86*FS - 0,32*AVS + 0,26*AHS - (35,75/FF) - 0,54*PAF_t(\%) * AHS + 277,98$						
6	A _{tot} (m ²)	3899,54									
7	A _{env} (m ²)	3383,88									
8	A _{env oeste} (m ²)	627,3									
9	A _{vidro} (m ²)	1333,9									
10	A _{vidro oeste} (m ²)	176,6									
11	A _{total fachadas}	2502,38									
12	A _{pcob} (m ²)	881,5									
13	AVS	3,16	0	0							
14	AHS	1,25	0	0							
15	FS	0,4	0,61	0,87							
16	PAF _t (%)	0,53	0,6	0,05							
17	PAF _o (%)	0,28									
18	V _{tot} (m ³)	14053,3									
19	PAF _c (%)	0,53									
20	FF	0,24									
21	FA	0,23									
22											
23	IC_{env}	126,87	132,33	105,65							

intervalo	
I	6,67185

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Min	-	112,33	119,00	125,67	132,34
Lim Max	112,32	118,99	125,66	132,33	-

Fonte: Autora

3.3.2 Determinação da eficiência da iluminação artificial

A iluminação artificial é primordial ao funcionamento das edificações. Essa possibilita o trabalho em horários e locais, no qual, a luz natural não atinge os índices necessários à realização das atividades. Observa-se que o sistema de iluminação artificial apresenta dois tipos de consumo de energia: o consumo direto, relacionado à quantificação de lâmpadas, e o indireto, gerado pelo calor dissipado da iluminação.

3.3.2.1 Pré-requisitos da iluminação artificial

Inicialmente, para a classificação da iluminação artificial é necessário à verificação dos pré-requisitos de cada nível. Portanto, além da identificação dos limites máximos de potência, deverão ser respeitados, à divisão dos circuitos, a contribuição da luz natural e o desligamento automático do sistema de iluminação, conforme tabela 38.

Tabela 38 - Pré-requisitos por nível de eficiência de iluminação artificial

PRÉ-REQUISITOS	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão de Circuitos	Sim	Sim	Sim
Contribuição da Luz Natural	Sim	Sim	-
Desligamento Automático	Sim	-	-

Fonte: RTQ-C (2010)

Nesta edificação verifica-se a presença dos quesitos relativos à divisão de circuitos e a contribuição da luz natural. Este prédio não apresenta sensores em todos os ambientes de atividade para o desligamento automático da iluminação. Assim, a classificação máxima limite seria o nível B, em vista, as limitações estabelecidas pelos pré-requisitos.

3.3.2.2 Cálculo do consumo da iluminação artificial

Para a determinação da eficiência da iluminação artificial, o RTQ-C (2010) possibilita dois métodos para classificação dos níveis, o método da área do edifício e o método das atividades do edifício. Como a edificação da Justiça Federal apresenta uma única atividade principal, e outra secundária, optou-se por uma avaliação conjunta dos ambientes do prédio. Isto porque, o método da área do edifício é aplicado para edificações com até 3 atividades, ou por atividades que ocupem mais de 30% da área total.

Inicialmente, para a aplicação desse método, é necessário identificar as atividades listadas na Tabela 4.1 do RTQ-C (2010), com suas respectivas densidades de potência de iluminação (DPL_L , dada em W/m^2), Tabela 39.

Tabela 39 - Densidade de potência de iluminação limite (DPL_L) por nível e atividade

FUNÇÃO DO EDIFÍCIO	W/m^2 (Nível A)	W/m^2 (Nível B)	W/m^2 (Nível C)	W/m^2 (Nível D)
<i>Tribunal (Principal)</i>	11,3	13,0	14,7	16,4
<i>Garagem (Secundária)</i>	2,7	3,1	3,5	3,9

Fonte: RTQ-C (2010)

Posteriormente, são identificadas as áreas iluminadas por atividades. Essas são multiplicadas pela densidade de potência (DPL_L) de cada nível, para que sejam encontradas as potências limites instaladas das atividades. Logo, a potência instalada total do edifício e o resultado do somatório destas duas, como indicado na Tabela 40 abaixo.

Tabela 40 - Potência instalada limite por atividade

TRIBUNAL - 3671,13 m ² (atividade principal)			GARAGEM - 1363,95 m ² (atividade secundária)			ÁREA TOTAL 5035,08 m ²
<i>Níveis de Eficiência</i>	<i>DPL_L (W/m^2)</i>	<i>Potência Limite (W)</i>	<i>Níveis de Eficiência</i>	<i>DPL_L (W/m^2)</i>	<i>Potência Limite (W)</i>	<i>Total Potência Limite (W)</i>
A	11,3	41.483,77 W	A	2,7	3.682,66 W	45.166,43 W
B	13,0	47.724,70 W	B	3,1	4.228,24 W	51.952,94 W
C	14,7	53.965,61 W	C	3,5	4.773,82 W	58.739,43 W
D	16,4	60.206,53 W	D	3,9	5.319,40 W	65.525,93 W

Fonte: Autora

Assim, encontradas as potências totais, é possível montar a tabela 41, que apresenta os intervalos de eficiência.

Tabela 41 - Limites numéricos dos níveis de eficiência da iluminação

NÍVEIS DE EFICIÊNCIA DA ILUMINAÇÃO					
EFICIÊNCIA	A	B	C	D	E
<i>Potência Limite Mínima</i>	-	45.166,44	51.952,95	58.739,44	65.525,94
<i>Potência Limite Máxima</i>	45.166,43	51.952,94	58.739,43	65.525,93	-

Fonte: Autora

A potência total instalada de iluminação é encontrada pela quantificação das lâmpadas empregadas. Portanto, na tabela 42 observa-se a quantificação da iluminação e o consumo da edificação por área de atividade.

Tabela 42 - Potência total instalada por atividade

TRIBUNAL - 3671,13 m ² (atividade principal)			GARAGEM - 1363,95 m ² (atividade secundária)		
<i>Tipo de Lâmpada</i>	<i>Número de Lâmpadas</i>	<i>Potência (W)</i>	<i>Tipo de Lâmpada</i>	<i>Número de Lâmpadas</i>	<i>Potência (W)</i>
Lâmpada Fluorescente 16 W	2332	37.312 W	Lâmpada Fluorescente 16 W	212	3.392 W
Lâmpada de Dicroica 50 W	91	4.550 W	Lâmpada de Dicroica 50 W	18	900 W
Lâmpada de Vapor Metálico 70 W	47	3.290 W	Lâmpada Fluorescente 32 W	130	4.160 W
Lâmpada Par 20 de 50 W	45	2.250 W	Lâmpada Par 20 de 50 W	6	300 W
Lâmpada Incandescente 60 W	39	2.340 W	Lâmpada Incandescente 60 W	17	1.020 W
<i>Somatório</i>	<i>2554</i>	<i>49.742 W</i>	<i>Somatório</i>	<i>383</i>	<i>9.772 W</i>

Fonte: Autora

O somatório das potências por atividade indica um consumo de 59.514 W, o que corresponde ao nível D de eficiência.

3.3.3 Determinação da eficiência do ar condicionado

Para a classificação dos aparelhos de ar condicionados, o RTQ-C (2010) estabelece a verificação dos condicionadores tipo Janela e Split na página eletrônica do INMETRO, onde são encontradas tabelas atualizadas com diversos aparelhos no mercado. No entanto, diversas edificações apresentam sistemas de condicionamento não enquadrados nas classificações do INMETRO. Para estes aparelhos e para sistemas centrais de condicionamento, o RTQ-C (2010) indica a observância dos requisitos presentes em tabelas específicas do manual, para resfriadores de líquidos, condicionadores e torre de resfriamento junto com condensadores. Para a obtenção do nível A, o projeto de condicionamento também deve atender os pré-requisitos descritos nos subitens 5.41 a 5.47 do manual. Neste sentido, foram elencados os equipamentos presente no sistema central do edifício da Justiça Federal, segundo tabela 43 abaixo para classificação.

Tabela 43 - Equipamentos do ar condicionado central Justiça Federal

<i>Quantidades</i>	ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS JUSTIÇA FEDERAL
02	Chiller Hitachi, RCU 100 SAZ, de 100 TRS cada.
02	Bombas KSB, MEGABLOC 100 - 250, primária, 25 CV, 55m³/h e 18 Mca.
02	Bomba KSB, MEGALINE 80 – 200, secundária, 7,5 CV, 142m³/h e 28 Mca.
01	Bomba de Água de reposição – 100m³/h e 15 Mca.
01	Fan Coil Hitachi TCA – NT 20 TC / TCA.
07	Fan Coil Hitachi TCA – NT 20 TC / TCA
03	Fan Coil Hitachi TCA – NT 15 TC / TCA.
04	Fancoletes Hitachi, tipo Cassete, TCCD 42 A, de 3,2 TRS cada.
02	Splits Hitachi, tipo piso x teto, RPC025 / RAAO25, de 30.000 BTUS cada.
02	Splits Hitachi, tipo Hi Wall, RKP020B / RAAO20, de 24.000 BTUS.
02	Ventiladores centrífugos de dupla aspiração, Berliner Luft, BSD 500, de 9.100 m³/h e 25 mmca.
01	Caixa Ventiladora Berliner Luft, BBS 355, 6.600 m³/h e 20 mmca.
19	Caixas Ventiladoras de forro Berliner Luft, MGS 160, 300 m³/h
02	Caixas Exaustoras Berliner Luft, MGD 160-4, 440 m³/h e 15 mmca.
02	Transdutores de Pressão diferencial – Dan foss.
02	Variadores de pressão, 220 V – 25 CV, marca WEG de controle das bombas.

Fonte: Informações obtidas na Justiça Federal

Dentre os aparelhos supracitados, iniciou-se a classificação pelas unidades condicionadoras e os resfriadores de líquido, principais aparelhos a serem classificados de acordo com RTQ-C (Tabela 44). Assim, as características elétricas foram pesquisadas em manuais técnicos disponíveis na internet pela empresa Hitachi:

Tabela 44 - Principais aparelhos a serem classificados

TIPOS DE UNIDADE	EQUIPAMENTOS
<i>Resfriador de Líquidos</i>	Chiller Hitachi, RCU 100 SAZ, de 100 TRS
<i>Condicionadores de Ar Resfriados a Água (Trocadores de Calor)</i>	Fan Coil Hitachi TCA – NT 20 TC / TCA
	Fan Coil Hitachi TCA – NT 25 TC / TCA
	Fan Coil Hitachi TCA – NT 15 TC / TCA.
	Fancoletes Hitachi, Tipo Cassete, TCCD 42A, de 3,2 TRS cada.
<i>Condicionadores de Ar Resfriados a Ar</i>	Splits Hitachi, Tipo Piso x Teto, RPC025 / RAA 25, de 30.000 BTUS cada.
	Splits Hitachi, Tipo Hi-Wall, RKP020B / RAA 20, de 24.000 BTUS.

Fonte: Informações Justiça Federal

Portanto, segue a classificação encontrada para alguns aparelhos:

- *Resfriadores de Líquidos:* O Chiller Hitachi RCU 100 SAZ apresenta condensação a ar, sua capacidade de resfriamento é de 353,5 KW, IPLV = 12,2 (coeficiente que expressa eficiência em cargas parciais) e COP = 3,02 (coeficiente de performance para resfriadores). Essas características se encontram em conformidade com a Tabela 5.5 do RTQ-(2010) para eficiência mínima de classificação em níveis A ou B, tendo em vista as características elétricas disponíveis no Catálogo Técnico II: Manual de Operação para Chiller Condensação a Ar, Série RCU –SAZ Compressor Parafuso. Logo, esse modelo de Chiller apresenta bom rendimento e eficiência.
- *Condicionadores de Ar Resfriados a Ar:* No edifício da Justiça Federal foram encontrados dois tipos de condicionadores de ar resfriados a ar, os conjuntos: Splits Hitachi Tipo Piso x Teto RPC025 / RAA 25; e Splits Hitachi Tipo Hi-Wall RKP020B / RAA 20. Para classificação destes condicionadores, a Portaria Nº 299/2013 (retificação do RTQ-C, 2010) orienta a classificação segundo os limites de eficiência exigidos pelo Inmetro para aparelhos com capacidade inferior a 19 KW. Assim, a eficiência energética desses condicionadores foi checada junto às tabelas disponíveis no endereço eletrônico, <www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.aps>.

➤ 1º Aparelho: Splits Hitachi, Tipo Piso x Teto, RPC025 / RAA 25.

Este modelo não possui classificação disponível pelo Inmetro. Contudo, é possível classificá-lo por comparação às características e propriedades elétricas de outros condicionadores classificados, como observado abaixo:

Hitachi: Manual do Proprietário das Linhas Utopia, Trocador de Calor e Acqua.

1. Marca: Hitachi;
2. Potência de Refrigeração: 8,798 kW ou 30.000 Btu/h;
3. Potência Elétrica: 2,96 kW;
4. Eficiência (CEE, coeficiente de eficiência energética): 2,97.

As características supracitadas acima são semelhantes às da unidade condicionadora da marca Elgin, grifo em vermelho da Figura 76.

Figura 76 - Tabela do Inmetro para condicionadores de ar split, piso x teto

MARCA	MODELO		TIPO	TENSÃO	CAPACIDADE DE REFRIGERAÇÃO NOMINAL			POTENCIA ELÉTRICA CONSUMIDA	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO
	UNIDADE INTERNA	UNIDADE EXTERNA		V	Btu/h	W	kW (*)	W	W/W	
ELECTROLUX	CFI36	CFE36	FRIO	220	36.000	10.548	10,55	3.757	2,81	C
ELGIN	PAFI-18000-2	PAFE-18000-2	FRIO	220	18.000	5.274	5,27	2.000	2,64	D
ELGIN	PAFI-30000-2	PAFE-30000-2	FRIO	220	30.000	8.790	8,79	3.000	2,93	C
ELGIN	PAFI-36000-2	PAFE-36000-2	FRIO	220	36.000	10.548	10,55	3.630	2,91	C
ELGIN	PAQI-18000-2	PAQE-18000-2	REVERSO	220	18.000	5.274	5,27	1.970	2,68	D
ELGIN	PAQI-30000-2	PAQE-30000-2	REVERSO	220	30.000	8.790	8,79	3.140	2,80	D
ELGIN	PAQI-36000-2	PAQE-36000-2	REVERSO	220	36.000	10.548	10,55	3.625	2,91	C
ELGIN	PDFI-18000-2	PAFE-18000-2	FRIO	220	18.000	5.274	5,27	2.000	2,64	D
ELGIN	PDFI-30000-2	PAFE-30000-2	FRIO	220	30.000	8.790	8,79	3.000	2,93	C
ELGIN	PDFI-36000-2	PAFE-36000-2	FRIO	220	36.000	10.548	10,55	3.630	2,91	C
ELGIN	PDQI-18000-2	PAQE-18000-2	REVERSO	220	18.000	5.274	5,27	1.970	2,68	D
ELGIN	PDQI-30000-2	PAQE-30000-2	REVERSO	220	30.000	8.790	8,79	3.140	2,80	D
ELGIN	PDQI-36000-2	PAQE-36000-2	REVERSO	220	36.000	10.548	10,55	3.625	2,91	C
ELGIN	PGFI - 36.000-2	PGFE - 36.000-2	FRIO	220	36.000	10.548	10,55	3.800	2,78	D
ELGIN	PGFI-24.000-2	PGFE-24.000-2	FRIO	220	24.000	7.032	7,03	2.600	2,70	D
ELGIN	PHFI-18.000-2	PHFE-18.000-2	FRIO	220	18.000	5.274	5,27	1.970	2,68	D
ELGIN	PHFI-18000-2	PRFE-18000-2	FRIO	220	18.000	5.274	5,27	1.800	2,93	C
ELGIN	PHFI-30000-2	PHFE-30000-2	FRIO	220	30.000	8.790	8,79	2.860	3,07	B
ELGIN	PHFI-30000-2	PRFE-30000-2	FRIO	220	30.000	8.790	8,79	2.970	2,96	C
ELGIN	PHFI-36000-2	PHFE-36000-2	FRIO	220	36.000	10.548	10,55	3.880	2,72	D
ELGIN	PHQI-18.000-2	PHQE-18.000-2	REVERSO	220	18.000	5.274	5,27	1.880	2,81	C

Fonte: INMETRO (2014). Disponível em <www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.aps>. Acesso em janeiro de 2014

Portanto, por comparação, o modelo Hitachi Piso x Teto RPC025 / RAA 25 pode ser classificado como nível C.

➤ 2º Aparelho: Splits Hitachi, Tipo Hi-Wall, RKP020B / RAA 20

A seguir são apresentadas as características elétricas do condicionador de ar Hitachi Hi-Wall PKP 020B / RAA 20:

Hitachi: Manual do Proprietário das Linhas Utopia, Trocador de Calor e Acqua.

1. Marca: Hitachi;
2. Potência de Refrigeração: 7,039 kW ou 24.000 Btu/h;
3. Potência Elétrica: 2,7 kW;
4. Eficiência (CEE, coeficiente de eficiência energética): 2,61.

Esse condicionador é classificado em nível D, conforme a tabela do Inmetro (Figura 77), para Splits Hi-Wall.

Figura 77 - Classificação do Inmetro para splits hi-wall

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia				
Selo PROCEL de Economia de Energia				
CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL				
Data atualização: 05/06/2012				
Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall	
			Rotação Fixa	Rotação Variável
A	3,20	<CEE	250	25,9%
B	3,00	<CEE ≤ 3,20	192	19,9%
C	2,80	<CEE ≤ 3,00	313	32,5%
D	2,60	<CEE ≤ 2,80	178	18,5%
E	2,39	≤ CEE ≤ 2,60	31	3,2%

Fonte: INMETRO (2014). Disponível em <www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.aps>. Acesso em janeiro de 2014

- *Condicionadores de Ar Resfriados a Água:* Não foi possível realizar classificação para as unidades trocadoras de calor dos modelos Fan Coil Hitachi TCA NT 15, 20 e 25. Isto ocorreu devido à falta de informações do Catálogo Técnico Hitachi: Unidades Modulares Air Handling Linha TCA NT 1, disponibilizado no site da empresa. Também, não foram encontrados dados no site eletrônico do Inmetro para classificação desses modelos.

Deste modo, pela indisponibilidade de dados concretos, essas unidades foram parcialmente classificadas em nível E, conforme orientações do LabEEE, organizador do manual RTQ-C.

Portanto, devido à insuficiência de dados para a classificação mais precisa dos principais aparelhos refrigerantes, optou-se por classificar o sistema central de condicionamento de ar em nível E de eficiência. Essa classificação foi conferida ao edifício

para que fosse possível a realização de um comparativo final de eficiência, antes e após a colocação do sistema fotovoltaico. Destaca-se que tal classificação foi conferida sob a orientação do LabEEE enviada por correio eletrônico.

3.3.4 Classificação final: situação atual da edificação

Para a obtenção do resultado final, são atribuídos equivalentes numéricos às categorias avaliadas anteriormente (Tabela 45). Esses são aplicados a Equação 2.1 do manual (Equação 13) para a etiquetagem definitiva do desempenho da edificação.

Tabela 45 - Equivalentes numéricos para cada nível de eficiência

<i>A</i>	5
<i>B</i>	4
<i>C</i>	3
<i>D</i>	2
<i>E</i>	1

Fonte: RTQ-C (2010)

Equação 13 - Classificação geral da edificação

EQUAÇÃO FINAL DE CLASSIFICAÇÃO.

$$PT = 0,3 \times \{(EqNumEnv \times AC / AU) + (APT / AU \times 5 + ANC / AU \times EqNumV)\} + (0,3 \times EqNumDPI + 0,4) \times \{(EqNumCA \times AC / AU) + (APT / AU \times 5 + ANC / AU \times EqNumV)\} + B$$

Fonte: RTQ-C (2010)

Onde as variáveis são:

1. *EqNumEnv*: Equivalente numérico envoltória;
2. *EqNumDIP*: Equivalente numérico sistema de iluminação artificial;
3. *EqNumCA*: Equivalente numérico do sistema de ar condicionado;
4. *EqNumV*: Equivalente numérico de ambientes não condicionados ou ventilados naturalmente;
5. *APT*: Área útil dos ambientes de permanência transitória, deste que não condicionados;

6. *ANC*: Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método de simulação virtual;
7. *AC*: Área útil dos ambientes condicionados;
8. *AU*: Área disponível para ocupação, medida entre os parâmetros internos das paredes que delimitam o ambiente, excluindo garagens;
9. *B*: Pontuação obtida por bonificações, com aplicações de dispositivos e sistemas para economia de energia e água, que variam de zero a um;

Inicialmente, foram retiradas as áreas solicitadas na equação, indicadas na Tabela 46.

Tabela 46 - Quantificação de áreas para equação final

QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS	
Área Útil (AU)	4115,46 m ²
Área Útil Ambientes Condicionados (AC)	3068,5 m ²
Área Útil Permanência Transitória não condicionada (APT)	1238,57 m ²
Área Útil Ambientes não Condicionados de Permanência Transitória (ANC)	-

Fonte: Autora

Em seguida, foram estabelecidos os equivalentes das classificações encontradas anteriormente.

Tabela 47 - Equivalentes numéricos para classificação da situação atual

QUESITOS ANALISADOS	CLASSIFICAÇÕES	EQUIVALENTES
<i>EqNumEnv (Envoltória)</i>	D	2
<i>EqNumDIP (Luz Artificial)</i>	D	2
<i>EqNumCA (Ar Condicionado)</i>	E	1
<i>EqNumV (Ventilação Natural)</i>	Não ocorre uso da ventilação Natural	0
<i>Bonificação</i>	Não ocorre bonificação	0

Fonte: Autora

Posteriormente, os valores encontrados são aplicados a Equação 2.1 do RTQ-C (2010) (Equação 14).

Equação 14 - Resultado final avaliação situação atuação

RESULTADO AVALIAÇÃO ATUAL

$$PT = 0,3 \times \{(2 \times 3068,5 / 4115,46) + (1238,57 / 4115,46 \times 5 + 0 / 4115,46 \times 0)\} + (0,3 \times 2 + 0,4) \times \{(1 \times 3068,5 / 4115,46) + (1238,57 / 4115,46 \times 5 + 0 / 4115,46 \times 0)\} + 0$$

$$PT = 2,34$$

Fonte: Autora

Na Figura 78 é exibida uma simulação do resultado final, sendo conferida classificação D para desempenho energético do edifício da Justiça Federal, em sua situação atual.

Figura 78 - Simulação Resultado Final no Excel: Situação Atual

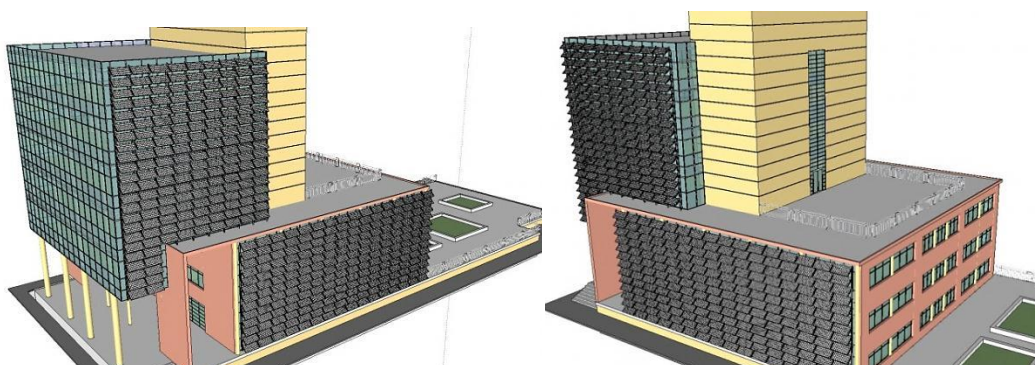
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	AC(m²)	AU(m²)	APT(m²)	ANC(m²)	b _o ⁻¹	EqNumEnv	EqNumV	EqNumDPI	EqNumCA
2	3068,5	4115,46	1238,57	0	0	2	0	2	
3									
4	PT	2,398947	Tabela 2.3: Classificação Geral						
5	Classificação								
6			PT	Classificação Final					
7			≥4,5 a 5	A					
8			≥3,5 a <4,5	B					
9			≥2,5 a <3,5	C					
10			≥1,5 a <2,5	D					
11			<1,5	E					
12	Fonte: Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010 - INMETRO								
13									
14									

Fonte: Autora

3.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO RTQ-C: APÓS *BRISE-SOLEIL* FOTOVOLTAICO

Para o prosseguimento do estudo, são apresentados os resultados após a aplicação do brise-soleil fotovoltaico. Esperam-se alterações nas classificações da envoltória. Na Figura 79 é apresentada a aplicação dos fotovoltaicos nas fachadas norte. Ressalta-se que a orientação do brise-soleil obedece à limitação imposta pelos módulos fotovoltaicos, que devem ser posicionados ao máximo 30° norte. Para melhores resultados, poderiam ser aplicados brise-soleils comuns nas fachadas oeste e leste. Logo, essa experimentação está limitada a proposição do produto estudado.

Figura 79 - Modelagem em Sketch-up, edifício da Justiça Federal (JF, MG)



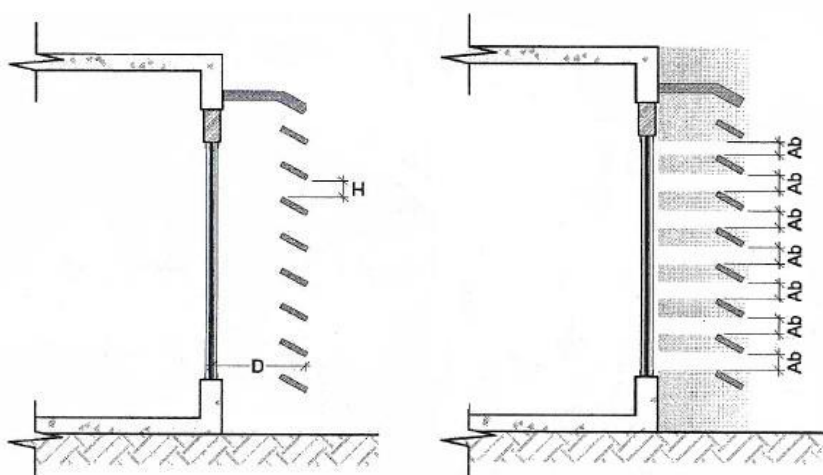
Fonte: Autora

3.4.1 Determinação da eficiência da envoltória após *brise-soleil* fotovoltaico

Proteções solares paralelas à fachada proporcionam variações no coeficiente PAFT (Percentual de Área de Abertura na Fachada Total). Neste caso, o RTQ-C (2010) indica realização de correção apenas nesta variável, mantendo os valores anteriormente encontrados.

Para a ponderação das aberturas por trás da proteção, a distância entre as peças de sombreamento do *brise-soleil* deve ser maior que a distância entre a proteção solar e a fachada. Portanto, as aberturas devem ser calculadas de acordo a Figura 80, onde são consideradas para o PAFT as áreas correspondentes aos espaços Ab .

Figura 80 - Proteção solar paralela, onde $D < H$ para alteração no PAFT



Fonte: RTQ-C (2010)

Logo, são recapitulados os valores e áreas encontradas, para a realização do novo ICenv (Tabela 48).

Tabela 48 - Valores recapitulados

VALORES DOS COEFICIENTES DA EQUAÇÃO	QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DA EDIFICAÇÃO
Fator de Altura $FA = 0,23$	Área Total Construída 3.899,54 m ²
Fator de Forma $FF = 0,24$	Área da Projeção da Cobertura 881,50 m ²
Ângulo Horizontal de Sombreamento AVS = 1,25	Área da Envoltória 3.383,88 m ²
Ângulo Vertical de Sombreamento AVS = 3,16	Área Total Fachadas 2.502,38 m ²
Fator Solar $FS = 0,40$	Volume Total 1.4053,3 m ³

Fonte: Autora

O novo valor para o PAFT é apresentado na equação 15, onde, são subtraídas as áreas envidraçadas diretamente atrás das placas fotovoltaicas. Logo, o novo somatório de **áreas** envidraçadas corresponderá a um total de 1077,33 m², apresentado diferença de 256,57 m² dos 1333,90 m² anteriores.

Equação 15 - PAFT corrigido após *brise-soleil* Fotovoltaico

PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA NA
FACHADA TOTAL (PAFT%):

$$\text{PAFT} = \frac{\text{ÁREA TOTAL ENVIDRAÇADA}}{\text{ÁREA TOTAL DE FACHADAS}}$$

$$\text{Área Total de Envidraçados} = 1077,33 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Total de Fachadas} = 2502,38 \text{ m}^2$$

$$\text{PAFT} = \frac{1077,33}{2502,38}$$

$$\text{PAFT} = 0,43$$

Fonte: Autora

Neste sentido, os valores são aplicados novamente na Equação 3.6 do RTQ-C (2010) (Equação 16), para classificação na Tabela 49.

Equação 16 - Índice de consumo da envoltória com *brise-soleil* fotovoltaico

APLICAÇÃO DOS COEFICIENTES NA EQUAÇÃO 3.6, APÓS BRISE.

$$\text{IC env} = - (14,14 \times \text{FA}) - (113,94 \times \text{FF}) + (50,82 \times \text{PAFT}) + (4,86 \times \text{FS}) - (0,32 \times \text{AVS}) + (0,26 \times \text{AHS}) - (35,75 / \text{FF}) - (0,54 \times \text{PAFT} \times \text{AHS}) + 277,98.$$

$$\text{IC env} = - (14,14 \times 0,23) - (113,94 \times 0,24) + (50,82 \times 0,43) + (4,86 \times 0,40) - (0,32 \times 3,16) + (0,26 \times 1,25) - (35,75 / 0,24) - (0,54 \times 0,43 \times 1,25) + 277,98.$$

$$\text{IC env} = 122,06$$

Fonte: Autora

Tabela 49 - Níveis de eficiência envoltória

NÍVEIS DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA					
EFICIÊNCIA	A	B	C	D	E
<i>IC min</i>	-	112,33	119,00	125,67	132,34
<i>IC max</i>	112,32	118,99	125,66	132,33	-

Fonte: Autora

Ao comparar o novo resultado ($IC_{env} = 122,06$) ao obtido anteriormente ($IC_{env} = 126,87$), percebe-se que com apenas a utilização das proteções nos envidraçados norte o desempenho da edificação passa da classificação D para C.

Na Figura 81 é apresentada o Excel utilizado para realização das operações.

Figura 81 - Índice de consumo da envoltória após *brise-soleil* fotovoltaico

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
4											
5	Variáveis	valor	IC _{maxD}	IC _{MIN}	Índice de consumo de envoltória $A_{pe}(m^2) > 500 m^2$ Limite: fator de forma mínimo = 0,15 $IC_{env} = -14,14*FA - 113,94*FF + 50,82*PAF_i(%) + 4,86*FS - 0,32*AVS + 0,26*AHS - (35,75/FF) - 0,54*PAF_i(%) * AHS + 277,98$						
6	$A_{tot}(m^2)$	3899,54									
7	$A_{env}(m^2)$	3383,88									
8	$A_{env\ oeste}(m^2)$	627,3									
9	$A_{vidro}(m^2)$	1077,33									
10	$A_{vidro\ oeste}(m^2)$	176,6									
11	$A_{total\ fachadas}$	2502,38									
12	$A_{pcob}(m^2)$	881,5									
13	AVS	2,1	0	0							
14	AHS	1,25	0	0							
15	FS	0,4	0,61	0,87							
16	$PAF_i(%)$	0,43	0,6	0,05							
17	$PAF_o(%)$	0,28									
18	$V_{tot}(m^3)$	14053,3			Intervalo						
19	$PAF_c(%)$	0,43			I	6,67185					
20	FF	0,24									
21	FA	0,23									
22											
23	IC _{env}	122,06	132,33	105,65							

Fonte: Autora

3.4.2 Classificação final após *brise-soleil* fotovoltaico

Com a aplicação do *brise-soleil* fotovoltaico, verificam-se mudanças nas variáveis relacionadas à envoltória e a bonificação final, decorrente da instalação de equipamentos para economia no consumo anual da edificação (Tabela 50).

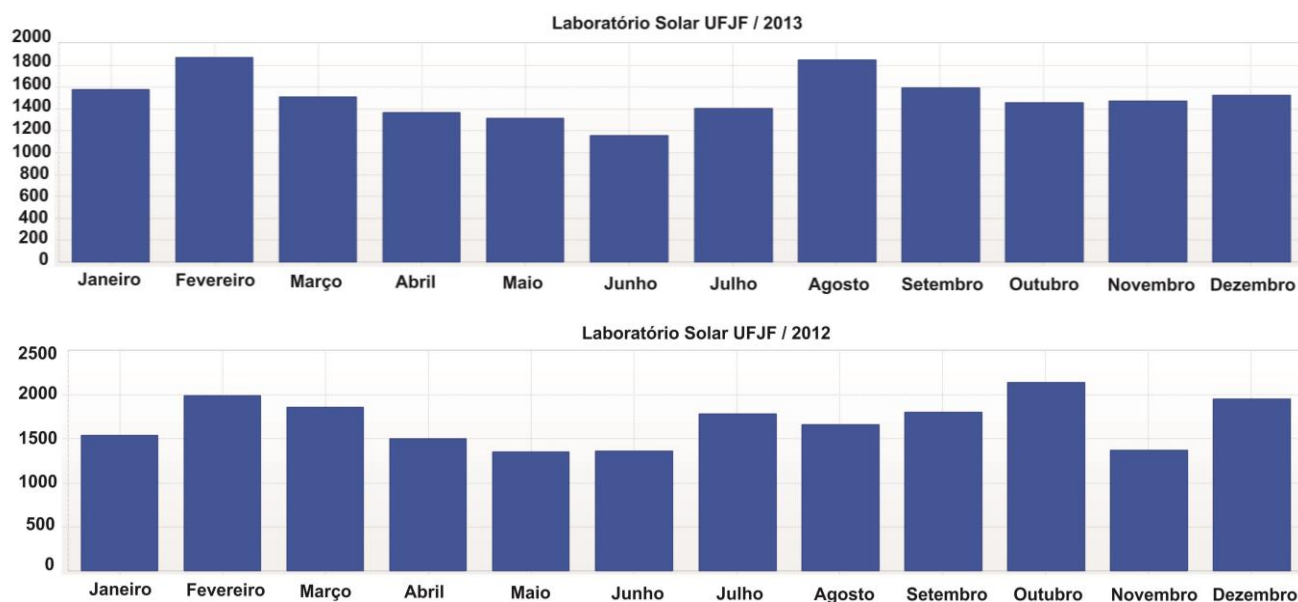
Tabela 50 - Equivalentes numéricos para classificação da após *brise-soleil* fotovoltaico

QUESITOS ANALISADOS	CLASSIFICAÇÕES	EQUIVALENTES
$EqNumEnv$ (Envoltória)	C	3
$EqNumDIP$ (Luz Artificial)	D	2
$EqNumCA$ (Ar Condicionado)	E	1
$EqNumV$ (Ventilação Natural)	Não ocorre uso da ventilação Natural	0
Bonificação	Geração Fotovoltaica	0,83

Fonte: Autora

Para que fosse mensurada a bonificação, primeiramente, foi pesquisado o rendimento mensal de um módulo fotovoltaico SX 120 U. Para isto, foram coletados dados na usina fotovoltaica da UFJF referentes aos anos de 2012 e 2013 (Figura 82).

Figura 82 - Rendimento energético da usina fotovoltaica da UFJF (energia - kWh)



Fonte: Laboratório solar UFJF (usina fotovoltaica)

A Tabela 51 apresenta a produção gerada no período de Outubro de 2012 a Setembro de 2013, pelo conjunto de 144 módulos da usina, e por módulo único.

Tabela 51 - Produção fotovoltaica, usina UFJF

PRODUÇÃO ENERGÉTICA MENSAL DA USINA FOTOVOLTAICA DA UFJF, 144 PAINÉIS		PRODUÇÃO DE 1 MÓDULO SX 120 U	
<i>Meses</i>	<i>Produção em kWh</i>	<i>Meses</i>	<i>Produção em kWh</i>
Outubro / 2012	2165	Outubro/2012	15,03
Novembro / 2012	1390	Novembro / 2012	9,65
Dezembro / 2012	1945	Dezembro / 2012	13,50
Janeiro / 2013	1600	Janeiro / 2013	11,11
Fevereiro / 2013	1850	Fevereiro / 2013	12,84
Março / 2013	1550	Março / 2013	10,76
Abril / 2013	1375	Abril / 2013	9,54
Maio / 2013	1350	Maio / 2013	9,37
Junho / 2013	1175	Junho / 2013	8,15
Julho / 2013	1410	Julho / 2013	9,76
Agosto / 2013	1850	Agosto / 2013	12,84
Setembro / 2013	1600	Setembro / 2013	11,11

Fonte: Adaptado do laboratório Solar UFJF (usina fotovoltaica)

Observa-se que, as variações mensais da produção estão relacionadas às condições climáticas de cada época específica do ano, onde na zona bioclimática três ocorrem melhores produções na primeira. Nesta estação o céu encontra-se limpo e as temperaturas são amenas,

possibilitando melhor absorção dos raios solares e menor perda de energia por aquecimento do material dos módulos. Depois de encontrados os rendimentos mensais de um único módulo, foram estimados os rendimentos, para igual período, do conjunto de 380 módulos utilizados no projeto (Tabela 52).

Tabela 52 - Estimativa de produção para 380 módulos fotovoltaicos

ESTIMATIVA PARA 380 PAINÉIS	
<i>Meses</i>	<i>Produção em kWh</i>
Outubro/2012	5711,4
Novembro / 2012	3667
Dezembro / 2012	5130
Janeiro / 2013	4221,8
Fevereiro / 2013	4879,2
Março / 2013	4088,8
Abril / 2013	3625,2
Maio / 2013	3560,6
Junho / 2013	3097
Julho / 2013	3708,8
Agosto / 2013	4879,2
Setembro / 2013	4221,8

Fonte: Autora

Em seguida, foi comparado o consumo energético da edificação à estimativa de produção do brise-soleil (Tabela 53). Ressalta-se que o período estudado, Outubro de 2012 a Setembro de 2013 esteve condicionado aos dados obtidos em demonstrativo de consumo energético da Cemig de igual período (em Anexo).

Tabela 53 - Comparativo entre consumo Justiça Federal e produção *brise-soleil* fotovoltaico

CONSUMO ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO DA JUSTIÇA FEDERAL		ESTIMATIVA PARA 380 PAINÉIS	
<i>Período-Meses</i>	<i>Consumo em kWh</i>	<i>Produção em kWh</i>	<i>Percentual de economia (%)</i>
Outubro / 2012	51000	5711,4	11,2
Novembro / 2012	64800	3667	5,6
Dezembro / 2012	49800	5130	10,3
Janeiro / 2013	65400	4221,8	6,5
Fevereiro / 2013	63600	4879,2	7,6
Março / 2013	63000	4088,8	6,5
Abril / 2013	64200	3625,2	5,6
Maio / 2013	61200	3560,6	6,0
Junho / 2013	52800	3097	5,9
Julho / 2013	45600	3708,8	8,13
Agosto / 2013	45600	4879,2	10,7
Setembro / 2013	51600	4221,8	8,2
Média Anual	56550	4232,6	7,5

Fonte: Adaptado do demonstrativo de consumo energético Cemig

Como constatado na tabela anterior, a produção fotovoltaica gera aproximadamente 7,5% de economia anual. Para que ocorra a máxima bonificação (pontuação 1), a aplicação dos painéis fotovoltaicos deve gerar uma economia mínima anual de 10% no consumo de energia elétrica da edificação. Como a economia gerada foi de 7,5%, a bonificação aplicada é proporcional, sendo de 0,75 a pontuação. Abaixo é demonstrado o resultado final obtido (Equação 17).

Equação 17 - Resultado final após *brise-soleil*

RESULTADO AVALIAÇÃO APÓS BRISE FOTOVOLTAICO

$$PT = 0,3 \times \{(EqNumEnv \times AC / AU) + (APT / AU \times 5 + ANC / AU \times EqNumV)\} + (0,3 \times EqNumDPI + 0,4) \times \{(EqNumCA \times AC / AU) + (APT / AU \times 5 + ANC / AU \times EqNumV)\} + B$$

$$PT = 0,3 \times \{(3 \times 3068,5 / 4115,46) + (1238,57 / 4115,46 \times 5 + 0 / 4115,46 \times 0)\} + (0,3 \times 2 + 0,4) \times \{(1 \times 3068,5 / 4115,46) + (1238,57 / 4115,46 \times 5 + 0 / 4115,46 \times 0)\} + 0,75$$

$$PT = 3,37$$

Fonte: Autora

Portanto, a edificação analisada é classificada em nível C (Figura 83), modificando o índice anterior classificado com nível D.

Figura 83 - Resultado final no Excel: após *brise-soleil* fotovoltaico

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	AC(m²)	AU(m²)	APT(m²)	ANC(m²)	b ₀ ¹	EqNumEnv	EqNumV	EqNumDPI	EqNumCA
2	3068,5	4115,46	1238,57	0	0,75	3	0	2	
3									
4	PT	3,372628	Tabela 2.3: Classificação Geral						
5	Classificação								
6			PT		Classificação Final				
7			≥4,5 a 5		A				
8			≥3,5 a <4,5		B				
9			≥2,5 a <3,5		C				
10			≥1,5 a <2,5		D				
11			<1,5		E				
12									
13			Fonte: Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010 - INMETRO						
14									

Fonte: Autora

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As questões projetuais demandam pesquisa, coleta de dados e estudo de hipóteses para proposições consistentes que atendam os desafios interpostos pelo problema inicial. Contudo, em muitos casos, as soluções encontradas podem acarretar novas questões que necessitarão de novas pesquisas e alternativas.

Durante o projeto são geradas diversas sínteses provenientes das informações coletadas. Tais sínteses podem colaborar para o prosseguimento do processo em etapa posterior, assim como podem demandar a volta para etapa anterior. Neste sentido, verificou-se a importância da produção projetual integrada, aliada a ferramentas de gestão do processo, que auxiliam nas tomadas de decisão e escolha das propostas elaboradas. Portanto, o método para escolha de conceitos, elaborado pelos autores Ulrich e Eppinger (2012), torna-se válido para o gerenciamento das opções selecionadas que prosseguirão em desenvolvimento.

Observa-se aqui, a importância de metodologias estruturadas de projeto que possuam ou incorporem ferramentas para gerenciamento de opções, e tomada de decisões. Tais metodologias poderiam ser utilizadas em conjunto a ferramentas computacionais de gestão e prototipagem virtual, o que facilitaria a avaliação e seleção de hipóteses elaboradas com protótipos virtuais.

Em relação a análise com o RTQ-C (2010), foi encontrada classificação nível D referente ao consumo da envoltória do edifício estudado. Após a simulação da colocação do *brise-soleil* fotovoltaico na fachada norte, o índice da envoltória modificou-se nível C. Já a classificação geral da situação atual encontra-se em nível D. Esta classificação também se modificou para nível C, após simulação de uso do produto. Isto, devido à economia de 7,5% anuais, caso fosse colocada à proteção sugerida. Neste caso, foi estimado o consumo médio anual de 56550 KW/h da edificação, onde seriam economizados 4232,6 KW/h gerados pelos 380 módulos fotovoltaicos da proposição.

Destaca-se aqui, o reconhecimento do RTQ-C (2010) com boa ferramenta de avaliação, principalmente, para projetos arquitetônicos que englobe em seus planos o uso racional de energia elétrica. Assim, esta ferramenta torna-se útil na validação de hipóteses projetuais, que poderão ser posteriormente justificadas pelas indicações e recomendações contidas no manual.

Nas experimentações iniciais com aletas foi constatada a validade da proposta. Porém, novos estudos devem ser realizados para o aprofundamento dos conceitos abordados neste

trabalho, em vista as inúmeras possibilidades acerca da tecnologia fotovoltaica. Destaca-se também, a sugestão de experimentação de outros métodos para o resfriamento nos módulos fotovoltaicos.

Por fim, como sugestão para novas pesquisas, é apresentada proposta referente ao refinamento das características e design do produto estudado, além das possíveis aplicações, em simulação experimental, em edificações do Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora, em vista ao grande potencial energético que poderia ser gerado na UFJF.

REFERÊNCIAS

- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio): **Fundamentos e Aplicações do Alumínio**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Abal, 2007.
- ABNT, **Rótulo Ambiental Selo Verde**. Disponível em: <<http://rotulo.abnt.org.br/>>. Acessado em 11 de novembro de 2012.
- ADDIS, B.: **Reuso de Materiais e Elementos de Construção**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2010.
- ALUK: **Frangisole Sunshade**. Catálogo Técnico, Maio 2006. Disponível em: <www.metapolar.hu/tmp/pdf/frs1.pdf>. Acesso em: maio 2014.
- ARAÚJO, M. A.: Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. **Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil: conceito e teoria**. Apostila n. 2 do curso Materiais Ecológicos e Tecnologias Sustentáveis. São Paulo, 2009.
- BASNET, A.: **Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into Building**. Dissertação de Mestrado (Master's Thesis in Sustainable Architecture). Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2012.
- BARBOSA FILHO, N. A.: **Projeto e Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Editora Atlas, 2009.
- BAXTER, M.: **Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos**. 3ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.
- BETTERCOURT, Leonardo: **Uso das Cartas Solares: Diretrizes para Arquitetos**. Maceió: EDFAL, 2004.
- BORGES, M.M.: **Proposta de um Ambiente Colaborativo de Apoio aos Processos de Ensino/ Aprendizagem do Projeto**. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, 2004.
- BROWN, G. Z.; DEKAY M.: **Sol, Vento e Luz: Estratégias para o Projeto de Arquitetura**; trad. Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. 2ª Edição. Porto Alegre: Bookman 2004.
- CASTRO, Rui M. G.: **Introdução á Energia Solar Fotovoltaica, Energias Renováveis e produção descentralizada**. Pesquisa Acadêmica. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico. DEEC/Área Científica de Energia, 2008.
- CHENG, L. C.; DRUMMOND, P.H.F.; MATTOS, P.: **A Integração do Trinômio Tecnologia, Produto e Mercado na Pré-Incubação de Pesquisa em Empreendedorismo na América Latina**. In: 3ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE PESQUISA EM EMPREENDEDORISMO NA AMÉRICA LATINA, nov. 2004, Rio de Janeiro. Anais....Rio de Janeiro: CIPEAL, 2004.
- CALLISTER, JR.; W.D.: **Ciência e Engenharia de Materiais, uma Introdução**. 7ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T.: **Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry**. Boston, Mass: Harvard Business School Press, 1991.

CODINHOTO, R.: **Diretrizes para o Planejamento e Controle Integrado dos Processos de Projeto e Produção**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Núcleo Orientado para Inovação da Edificação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

COGEN (Associação da Indústria de Cogeração de Energia): **Inserção da Energia Solar no Brasil**. São Paulo: GOPEN, 2012. Disponível em: <www.cogen.com.br/Solar/.../Relatorio_Final_GT_COGEN_SOLAR.pdf>. Acesso em: novembro de 2013.

CORBELLA, O.; YANNAS, S.: **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto Ambiental**. 2ª Edição rev. ampl. Rio de Janeiro: Revan, setembro de 2009.

CORRÊA, L.H.; CORRÊA, A. C.: **Administração e Operação. Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica**. 3Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

COSTA, R. C.: **Desenvolvimento de Processos Industriais de Fabricação de Células Solares Bifaciais em Silício**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais). PGETEMA, Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CUNHA, E.G.: **Mitos e Verdades sobre Brise-Soleil da Estética a Eficiência Energética**. Arquiteturarevista, Vol. 7, N.1, p. 73-80, jan/jun. 2011. Disponível em: <revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/1279>. Acesso em: maio 2014.

ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J.: **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática** 4ª Ed. Nova York: Bookman, 2012.

DUPONT: **Tedlar®, Polyvinyl fluori de film: Geral Properties**: Catálogo Comercial, 2011. Disponível em: <www.dupont.com/products.../tedlar-pvf-films.html>. Acesso em: maio 2014.

DRUMMOND, P.H.F. (2005) **O Planejamento Tecnológico de uma Empresa de Base Tecnológica de Origem Acadêmica por Intermédio dos Métodos Technology Roadmapping (TRM), Technology Stage-Gate (TSG) e Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) Tradicional**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ELETROBRAS: **Selo Procel Edifica**. Disponível em: <<http://www.elektrobras.com/elb/procel/main.asp>>. Acessado em 29 de abril de 2013.

EPE (Empresa Pública de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia): **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. Disponível em <www.mme.gov.br/.../1_-BEN_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf>. Acesso em: novembro de 2013.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética): **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: <www.epe.gov.br/geracao/Documents/...23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: novembro de 2013.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R.: **Manual do Conforto Térmico**. 5ª Edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GREEMPRO: **Energia Fotovoltaica. Manual sobre Tecnologias, Projeto e Instalação**. Volume Técnico ALTENER. Janeiro: 2004.

GUTIERREZ, G.C.R.: **Avaliação do Desempenho Térmico de Três Tipologias de Brise-Soleil Fixo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

HITACHI: **Manual do Proprietário e Instalações: Linhas Utopia, Trocadores de Calor e Acqua**. Junho 2010. Disponível em: <www.hitachiapb.com.br/utopia.asp>. Acesso em: maio 2014.

HITACHI: **Manual de Instalação e Operação: Chiller Condensação a Ar. Série RCU_SAZ Compressor a Parafuso**. Set. 2011. Disponível em: <www.hitachiapb.com.br/produtos-chiller>. Acesso em: maio 2014.

HITACHI: **Unidades Modulares Air Handling, Linha TCA-NT1**. Catálogo Técnico, Out, 2009. Disponível em: <www.hitachiapb.com.br/.../%7BD7260377-9863-4BB0-BD16-FB5AD33E63B2%7D_IHCA-TCAAR001%20Rev02%20Out2009_TCA-NT1.pdf>. Acesso em: maio de 2014.

HITACHI: **Trocadores de Calor para Água Gelada, Linha TCSD, TCYD, TCCD**. Catálogo Técnico, Nov, 2012. Disponível em: <www.hitachiapb.com.br/materiais/pdfs/%7B4842ED8E-7FA8-4C98-A528DC0962D53B1E%7D_IHCA-TCDSC001%20Rev08%20Dez2012_Fancoils.pdf>. Acesso em: maio 2014.

INMETRO. Portaria nº 50, 01 de fevereiro de 2013. **Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidro**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 01 fev. 2013.

INMETRO. **Portaria nº 299, 19 de junho de 2013**. Considerações sobre Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jun. 2013.

LAMBERTS, R. *et al.*: **Desempenho Térmico em Edificações**. Apostila para Ensino. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

LECHNER, N.: **Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects**. 3ª Ed. New Jersey. Wiley, 2009.

MEDEIROS, I.D. **O Brise-Soleil na Zona Bioclimática 3 sob Avaliação dos Requisitos Técnicos da Qualidade para Níveis de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). PROGRAU, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

MERLO: **Linea Photovoltaic**. Catálogo Técnico, Fev.2007. Disponível em: <<http://www.merlosrl.com/Merlo-frangisole-schede/Merlo-Frangisole/pdf/Linea%20PH%20it.pdf>>. Acesso em: maio 2014.

MMA (Ministério do Meio Ambiente): **Construção Sustentável**. Disponível em <www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/.../construção-sustentável>. Acesso em: novembro de 2013.

NAVEIRO, R.M. e GOUVINHAS, R.P.: **Projeto do Produto, Competitividade e Inovação**. In: ROMEIRO FILHO, E., *et al.*: **Projeto do Produto**. São Paulo: Editora Elsevier, 2010.

PAHL, G., *et al.*: **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações**. 6ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PRODANOV, C.C. e FREITAS, E.C.: **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª Ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

ROAF, S. *et al.*: **Ecohouse. A Casa Ambientalmente Sustentável**. 3ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROMEIRO FILHO, E., *et al.*: **Projeto do Produto**. São Paulo: Editora Elsevier, 2010.

ROZENFELD, H.; AMARAL, D.C.: **Conceitos Gerais de Desenvolvimento de Produto**. São Carlos: Grupo de Engenharia Integrada, Universidade Federal de São Carlos, 2001. Disponível em: HTTP://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/index.html. Acessado em 02 de abril de 2013.

RÜTHER, Ricardo: **Edifícios solares fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

RTQ-C: **Requisitos Técnicos da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos**. Anexo da Portaria INMETRO nº 372 / 2010.

RTQ-C: **Manual para Uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de edifícios Comerciais de Serviço e Públicos**. Método Prescritivo. Versão 1.0. disponível: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/do_wnloads/manualv02_1.pdf. Acesso: julho 2014.

ROSSI: **Motor Pivotante de Pistão, Linha Pivotante**. Catálogo Técnico, Abril 2012. Disponível: portoescuritiba.com.br/2014/download/manuais/03%20linha%20pivotante.pdf. Acesso: maio 2014.

ROZENFELD, H., *et al.*: **Gestão de Desenvolvimento de Produto: Uma Referência para a Melhoria de Processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS JUNIOR, S.L.R.: **Análise de Materiais e Técnicas em Encapsulamento de Módulos Fotovoltaicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia dos Materiais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia dos Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

SUSTENTAX, G.: **Mercado para Produtos Sustentáveis**. In: ESTRATÉGIAS CORPORATIVAS SUSTENTÁVEIS (FEBRABAN), jun. 2010, São Paulo, 2010.

SUSTENTAX, G.: **Selo Sustentax: Perguntas frequentes**. São Paulo: Sustentax, Junho 2011.

SOUZA, R.L.C., *et al.*: **The Paradigm of Ecodesign: What is the True Sustainability in the Production Processes?** In: SILVA, J.; SOUZA, M.; SANTOS, A.; (ed.) Brazil Network on Sustainable Design, 2009, São Paulo: RBDS, 2009.

SUL METAIS: **Brisas Metálicos**. Catálogo Técnico. Disponível em: www.sulmetais.com.br/catalogos/book/3-catalogo-brises-e-termobrisas/2-catalogo-sul-metais. Acesso em: maio de 2014.

ULRICH, K. e EPPINGER, S.: **Product Design and Development**. 5ª Ed. Nova York: McGraw-Hill Irwin, 2012.

VARIXX: Zyggot Temperatura: Sistema de Monitoramento e Proteção de Temperatura sem Contato: Manual Versão 1P, 2013. Disponível em: <www.varixx.com.br/.../28244f5c25a612ae791061c603ab04fafa02e.pdf>. Acesso em: maio 2014.


VENZKE, C.S.: O Ecodesign no Setor Moveleiro do Rio Grande do Sul. REAd. Edição Especial 30 Vol. 8 N°. 6, Nov / Dez, 2002.

WEBER, C.P.: O Uso do Brise-Soleil na Arquitetura do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil). Centro de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

ANEXO 1 –

Consumo Energético do Edifício da Justiça Federal

Consumo Energético do Edifício da Justiça Federal



www.cemig.com.br/atendimento
Emergências: 0800 723 2827

Distribuição S.A.

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322136.0087
 Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

JUSTIÇA FEDERAL DE PRIMEIRO GRAU EM MG
 RUA JOSE CAULAHUAGI, S/N
 CENTRO
 35060-080 JUIZ DE FORA, MG
 CNPJ 05.452.786/0001-00
 INSCRIÇÃO ESTADUAL ISENTA

Referente a
OUT/2013
 Código de Débito Automático:
000080030471

Nº DO CLIENTE
7000051417

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U - Nº 000009833 - PTA Nº 16.000114527.70

Classe	Subclasse	Datas de Leitura	Datas da Nota Fiscal	Nº DA INSTALAÇÃO
Poder Público	Poder Público Federal	ANTERIOR 01/09 ATUAL 01/10 PRÓXIMA 01/11	EMISSÃO 01/10 APRESENTAÇÃO 03/10	3010001498

Informações Técnicas

Modalidade Tarifária
 THS Verde A4

A partir de 2014 vigorará o sistema de bandeiras tarifárias. A bandeira verde não implicará cobrança adicional. As bandeiras amarela e vermelha, quando acionadas, implicarão tarifas de maior valor, devido ao maior custo de geração. No mês de 10/2013 vigorará a bandeira vermelha, a qual implicará o adicional de R\$ 0,030/kWh de acréscimo ao valor da tarifa, líquido de tributos. Mais informações em www.aneel.gov.br

Informações Gerais
 Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 1.507, de 05/04/13
 Retenção de 5,85%, valor R\$ 1.225,44, conforme Art. 64 da lei nº 9430, de 27/12/96.
 Termo aditivo: 5000123322-2008 - 05/05/2009
 Conforme DECRETO Nº 48.213, DE 11 DE ABRIL DE 2013, não será exigido o recolhimento do ICMS sobre a parcela de Demanda de Potência não utilizada
 AGENTE DE RELACIONAMENTO: ANA C. P. NEVES
 E-MAIL: ana.neves@cemig.com.br

Valores Faturados

Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	258	8,98934121	2.319,24
Demanda Ativa kW HFP/Único	77	7,30155419	562,21
Energia Ativa kWh HFP/Único	46.800	0,23182227	10.849,26
Energia Ativa kWh HP	5.400	1,17457301	6.342,67
Energia Reativa kWh HFP/Único	3.600	0,20832156	749,94
Energia Reativa kWh HP	600	0,20832156	124,97

Encargos / Cobrança

Imposto Retido - IRPJ	251,37
Imposto Retido - PIS/PASEP	136,15
Imposto Retido - COFINS	628,44
Imposto Retido - CSLL	209,48

Indicadores de Qualidade de Fornecimento
 Juiz de Fora 2
 Mês: 08/2013

	Valores Permitidos:		
	Apurado Mensal	Mensal	Trimestral
DIC	0,10	3,24	6,49
FIC	1,00	2,17	4,35
DMIC	0,10	2,46	8,71
DICRI	0,00	9,77	-

 Tensão: Nominal = 22,0 kV Min. = 20,5 kV Máx. = 23,1 kV
 Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$6.223,76

Informações de Faturamento

VENCIMENTO
17/10/2013

VALOR A PAGAR
R\$ 19.722,85

Histórico do Consumo


Mês/Ano	DEMANDA (kW)		ENERGIA (kWh)		HR
	HP	HFP	HP	HFP	
SET/13	182	246	4.800	46.800	0
AGO/13	156	234	4.200	41.400	0
JUL/13	168	228	4.200	41.400	0
JUN/13	162	252	5.400	47.400	0
MAI/13	216	276	6.600	54.600	0
ABR/13	258	306	6.600	57.600	0
MAR/13	282	312	6.000	57.000	0
FEV/13	210	294	4.200	59.400	0
JAN/13	240	312	3.000	62.400	0
DEZ/12	180	300	2.400	47.400	0
NOV/12	216	324	5.400	59.400	0
OUT/12	210	288	4.200	46.800	0

Reservado ao Fisco
13C1.CE63.2261.274A.76D2.B85C.99FC.DC09

Base de cálculo(R\$)	ICMS Alíquota(%)	Valor(R\$)
20.388,08	18	3.669,48

PASEP (R\$)	COFINS (R\$)
154,99	710,12

Ouvidoria CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e ~~tarifada na origem~~ para telefones celulares.



Unidade de Leitura
91071779

Conta Contrato
000080030471

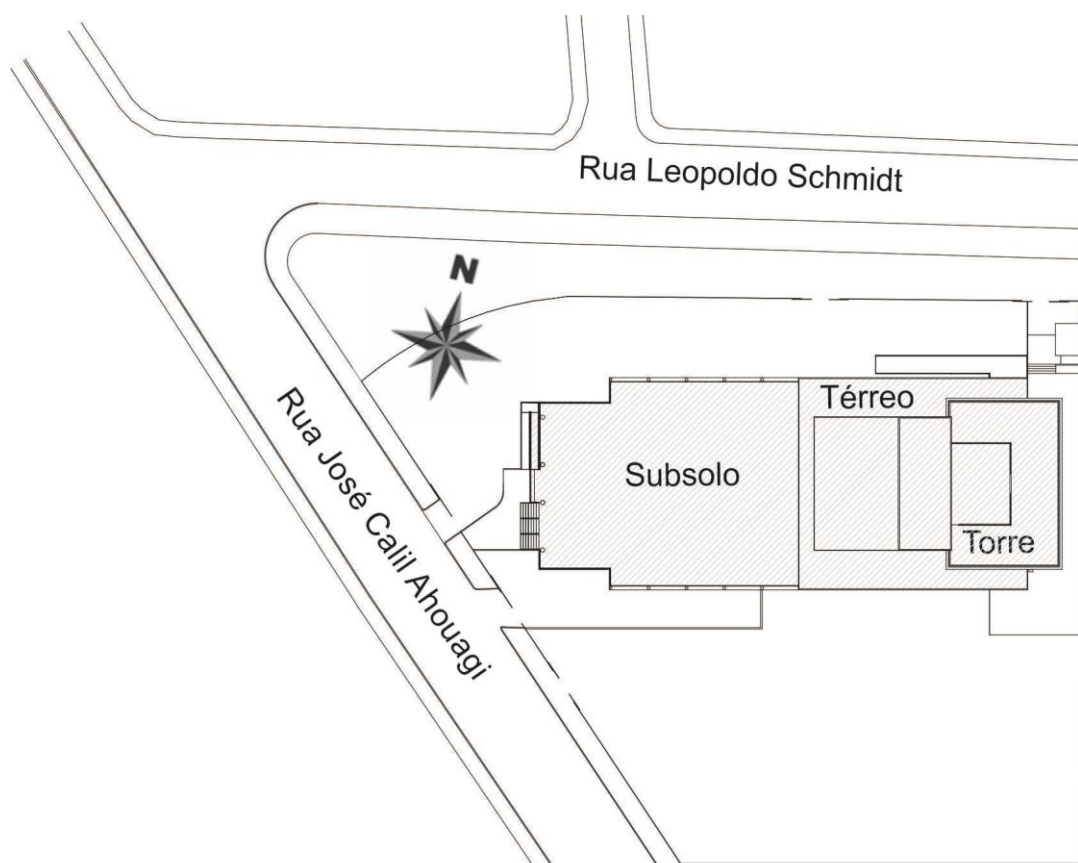
Vencimento
17/10/2013

Total a Pagar
R\$ 19.722,85

Fonte: Cedido pela Administração da Edificação.

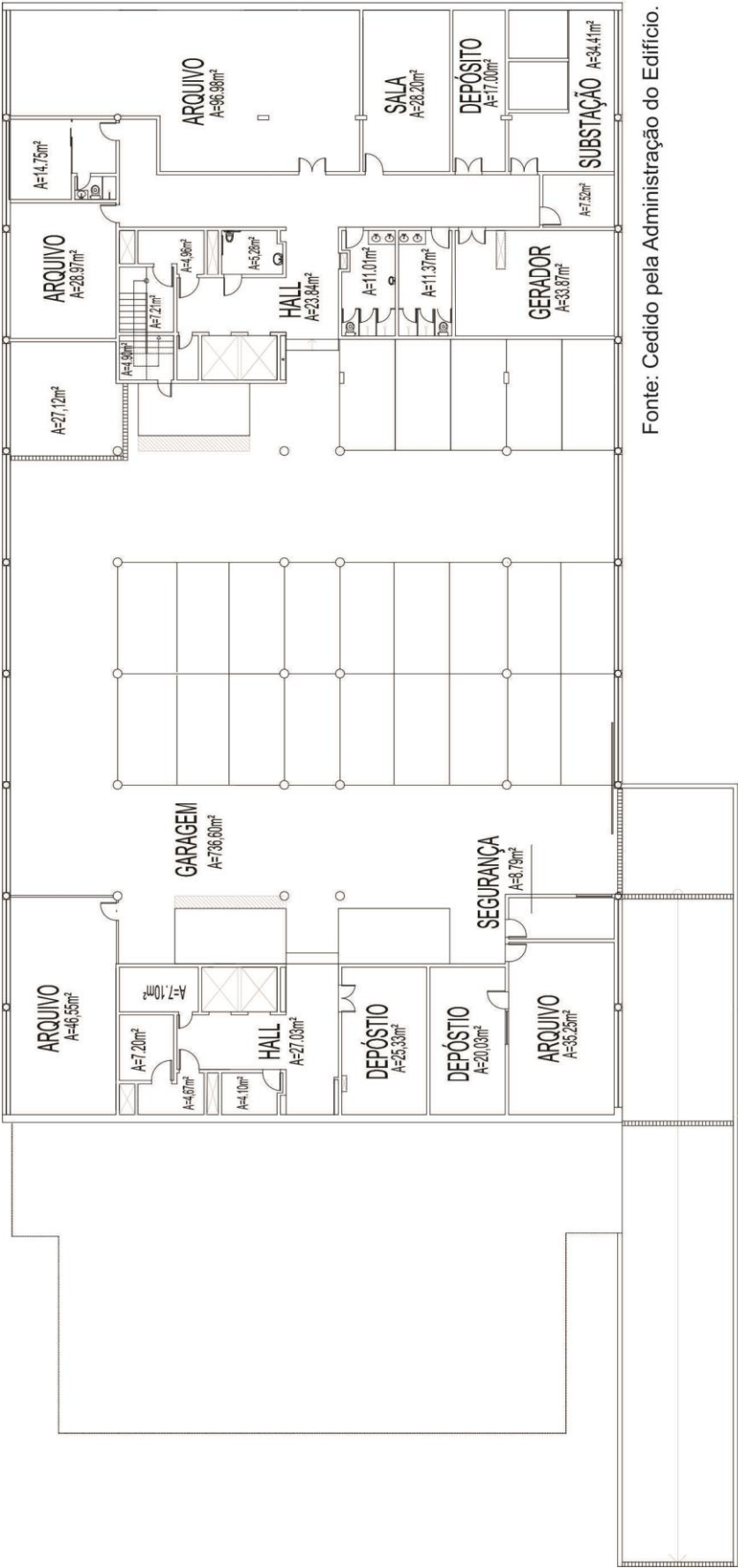
ANEXO 2 –

Desenhos Arquitetônicos do Edifício da Justiça Federal

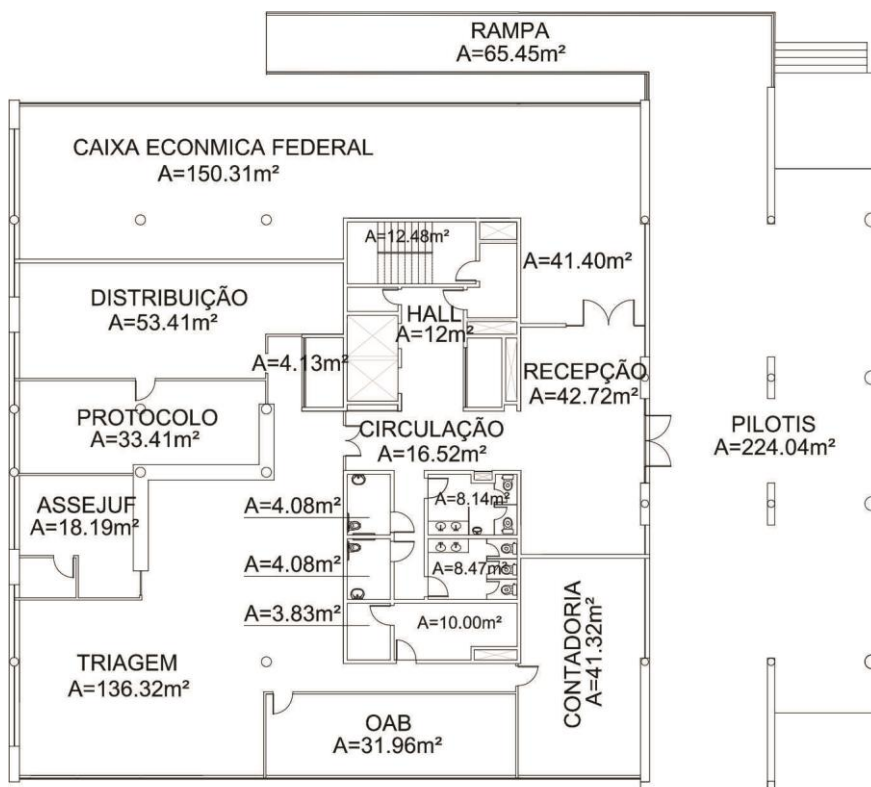


Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
Situação - Escala 1/1000

Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.

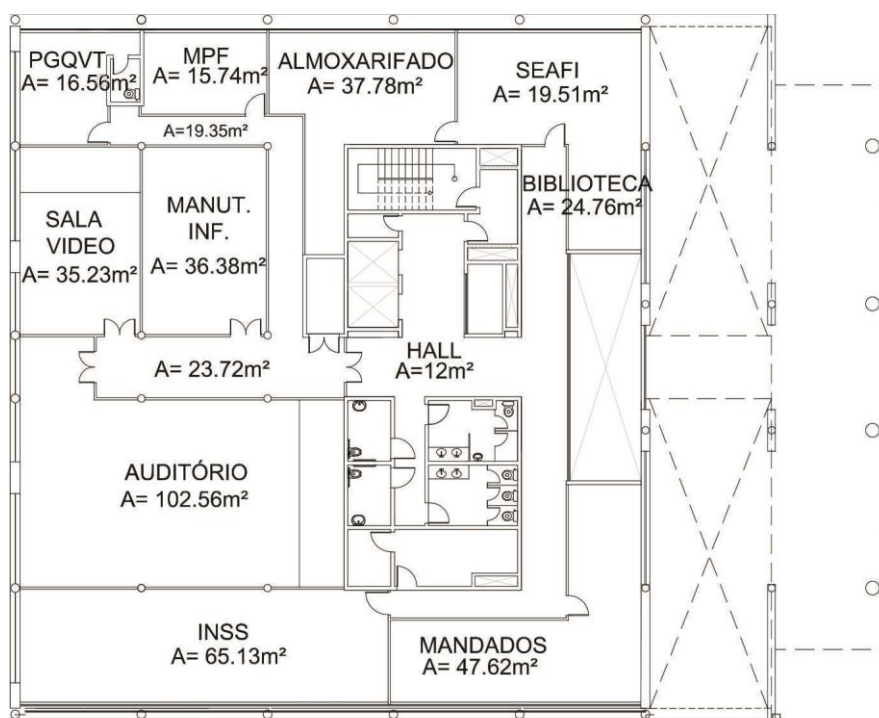


Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
Subsolo - Escala 1/300



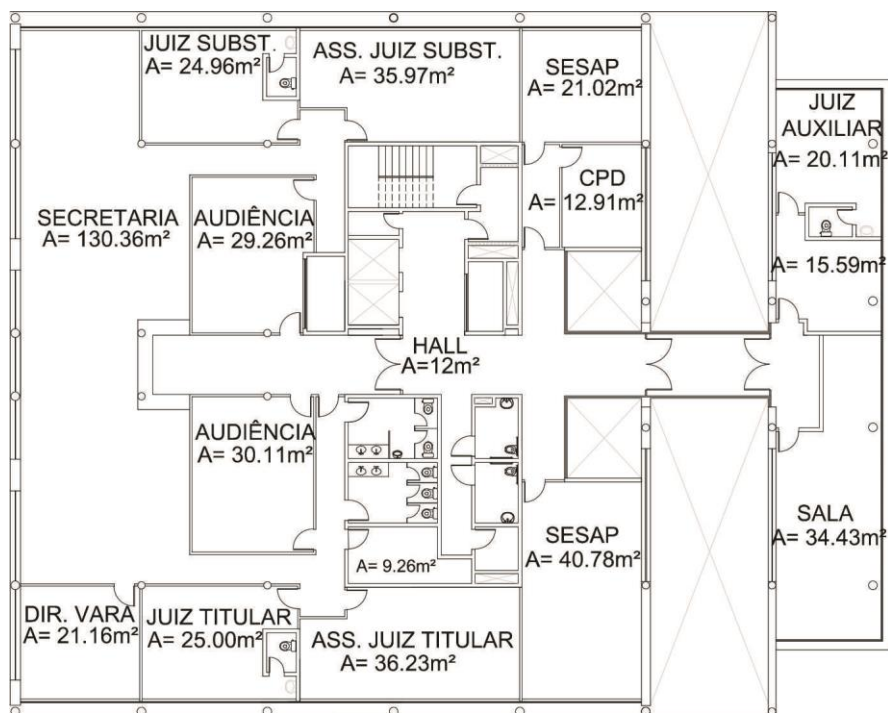
Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
Térreo - Escala 1/300

Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.



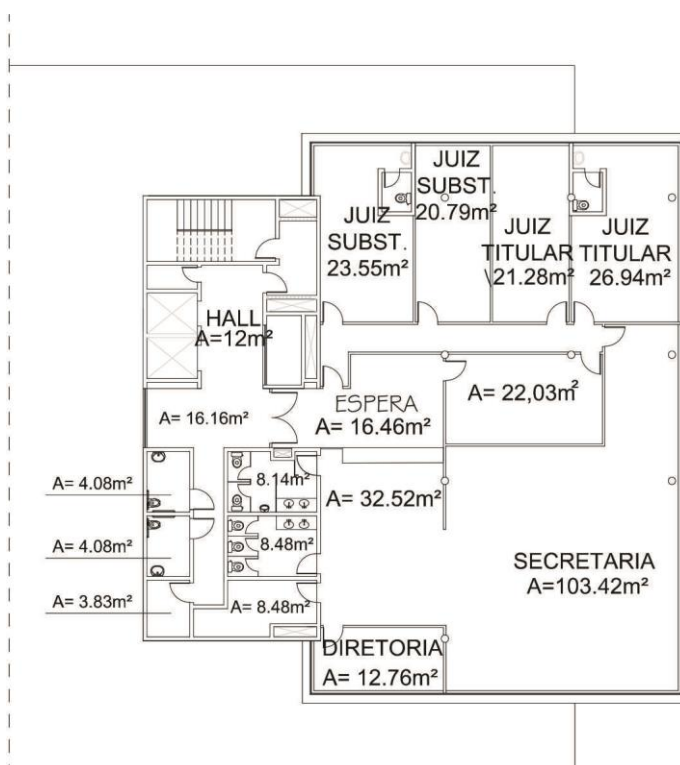
Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
1º Pavimento - Escala 1/300

Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.



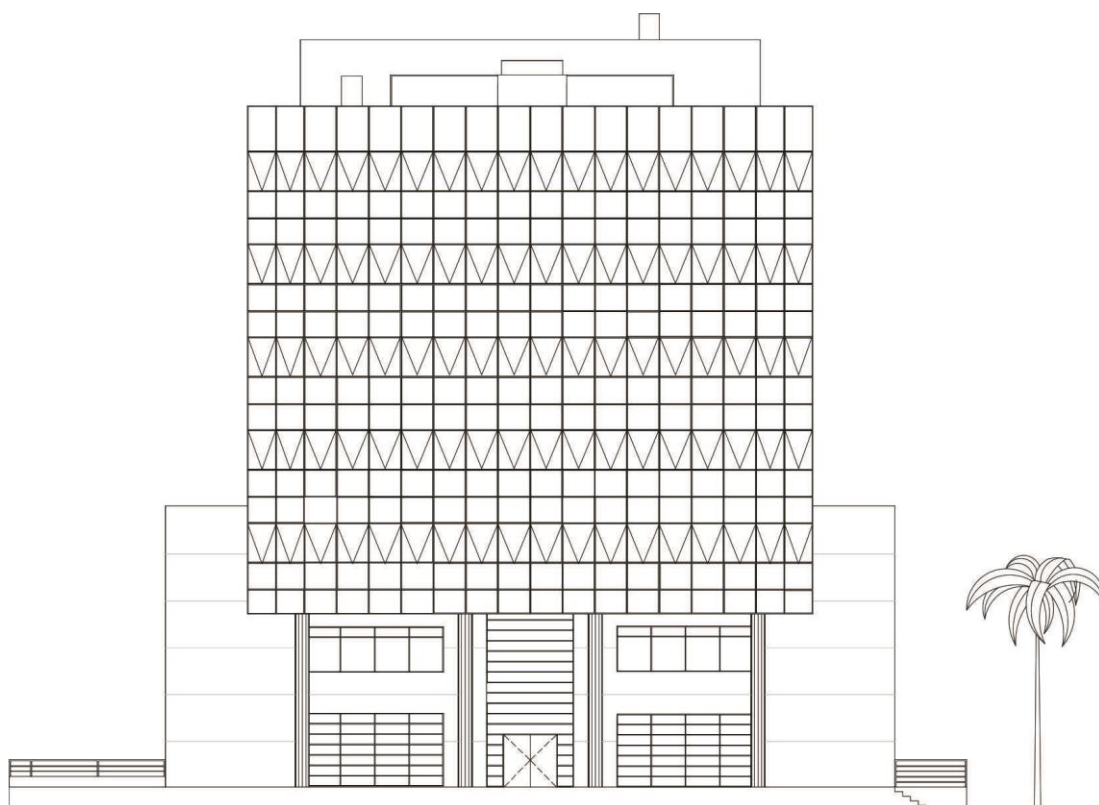
Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
2º Pavimento - Escala 1/300

Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.



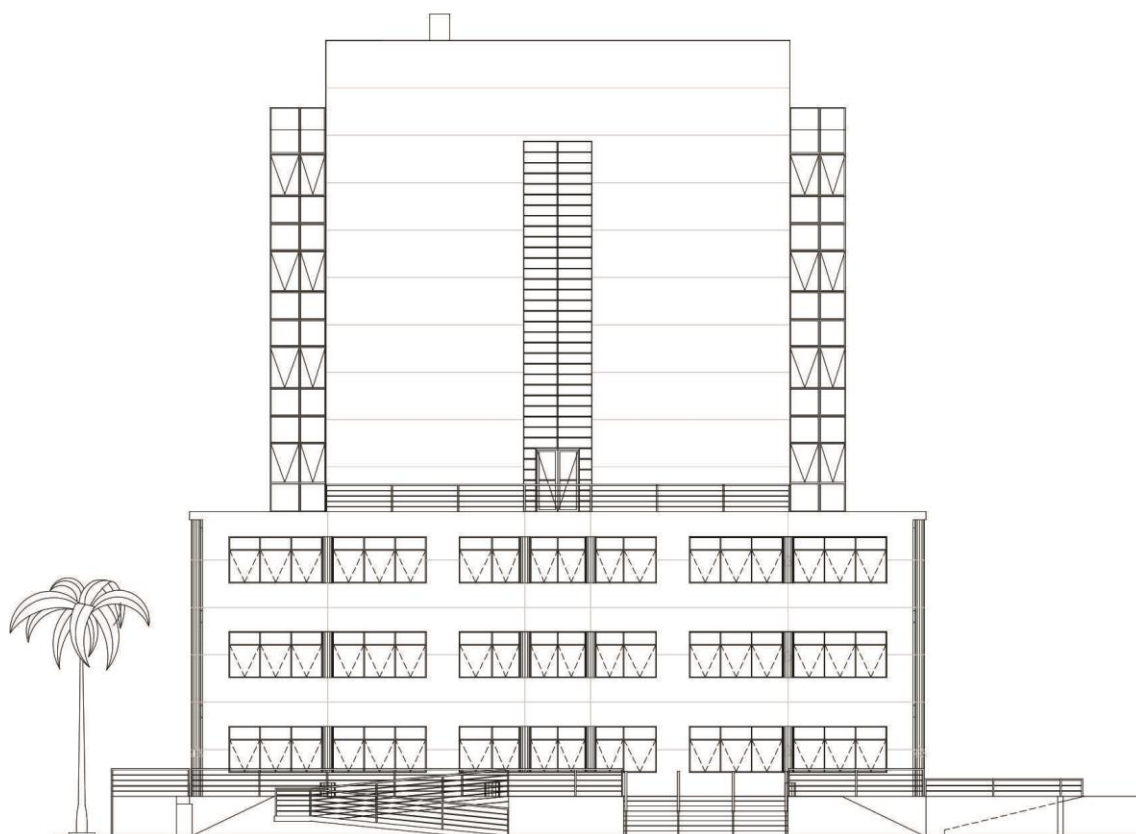
Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
4º ao 7º Pavimento - Escala 1/300

Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.



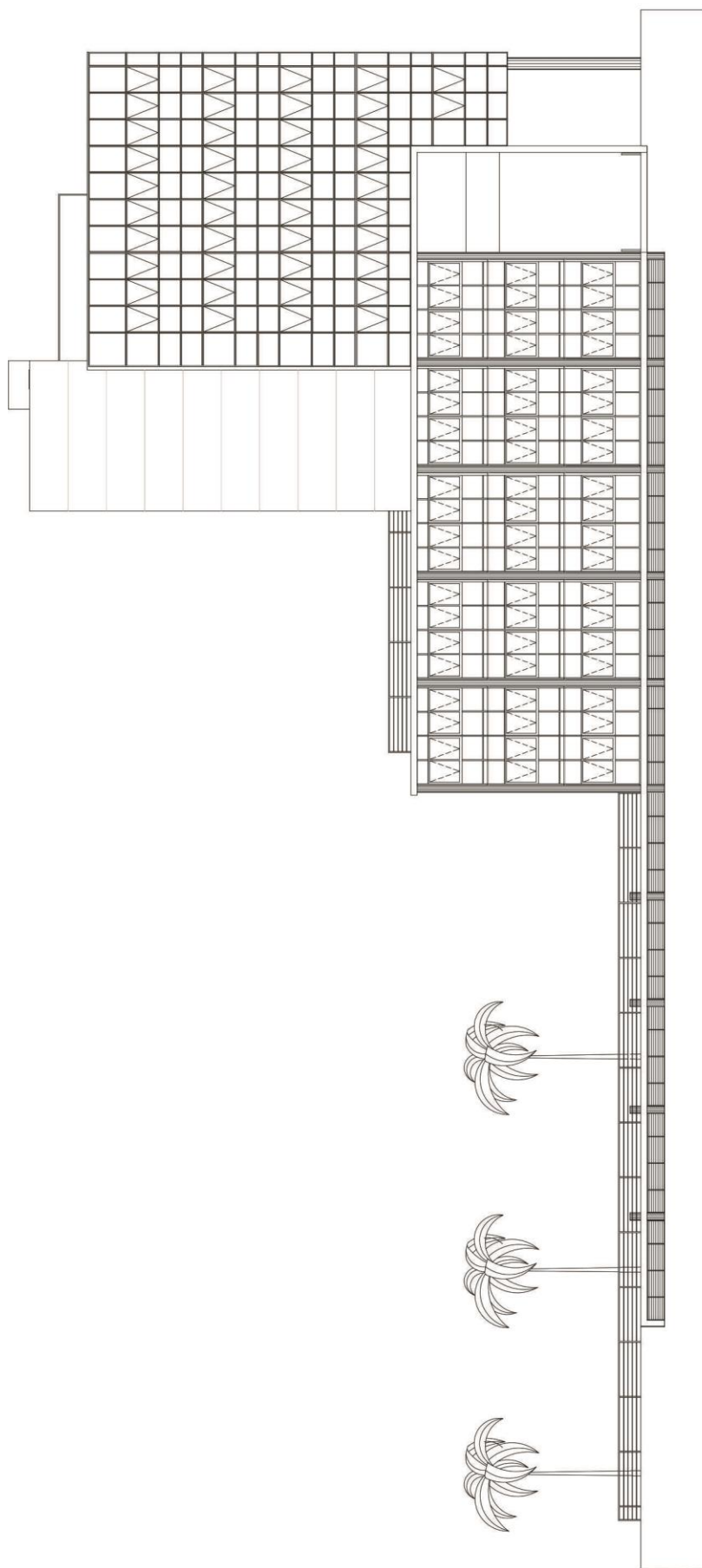
Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
Fachada Leste - Escala 1/300

Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.



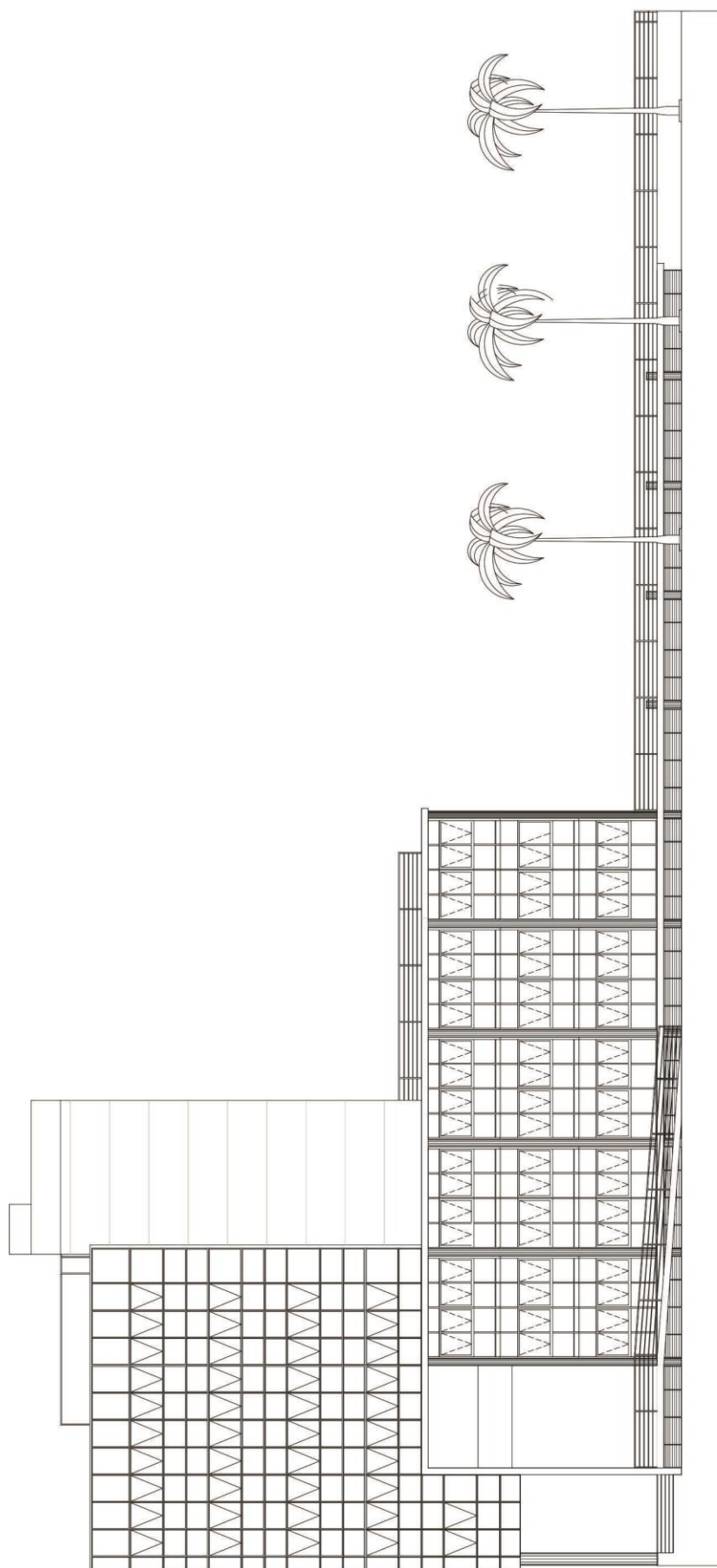
Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
Fachada Leste - Escala 1/300

Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.



Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
Fachada Sul - Escala 1/300

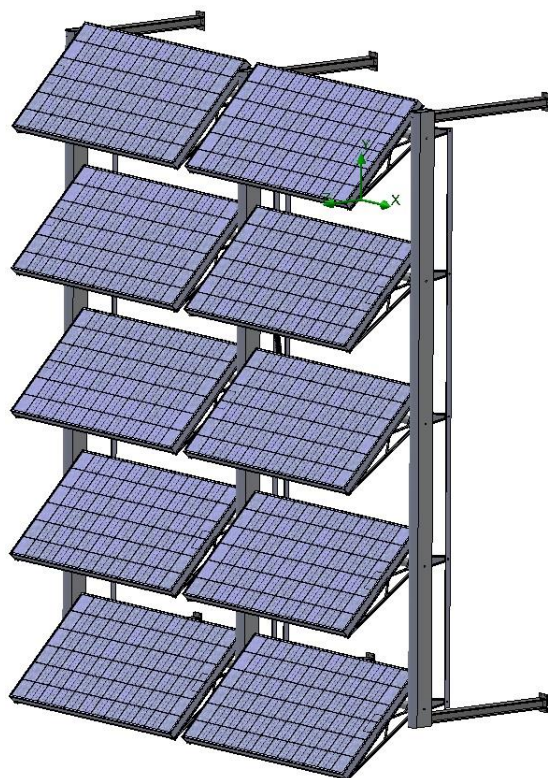
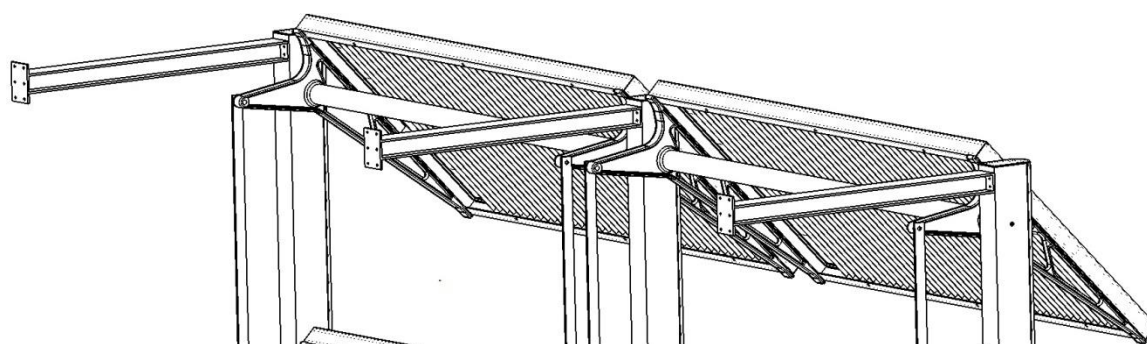
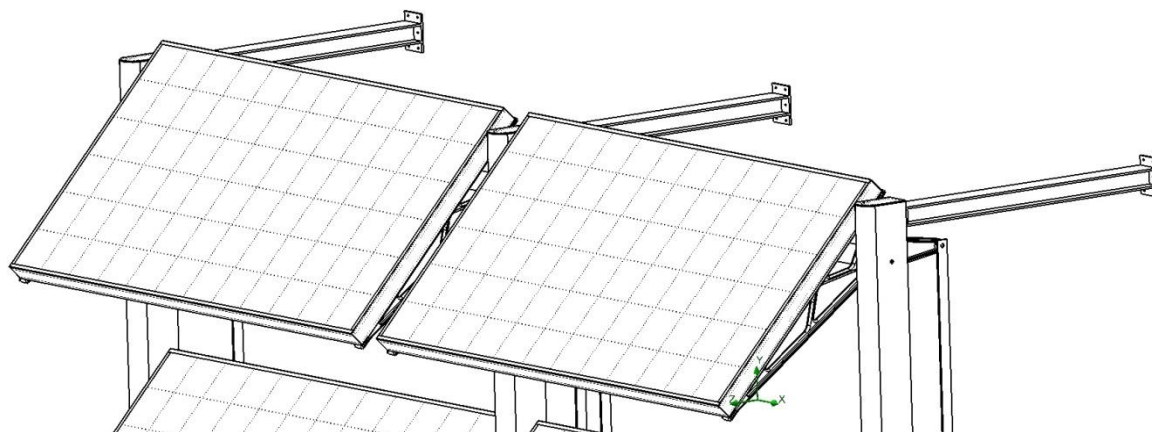
Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.



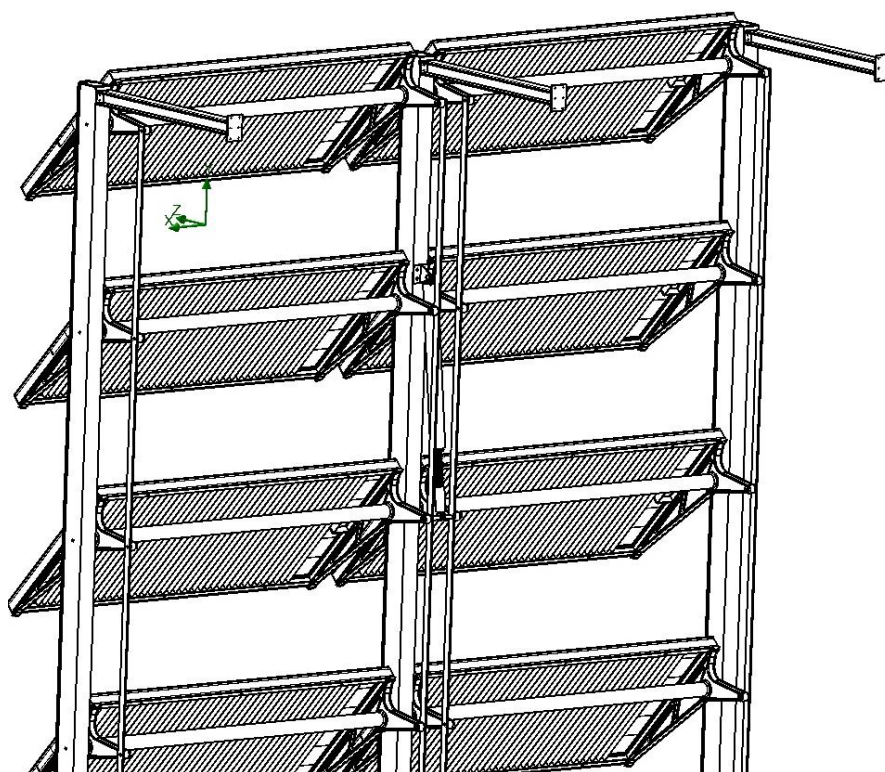
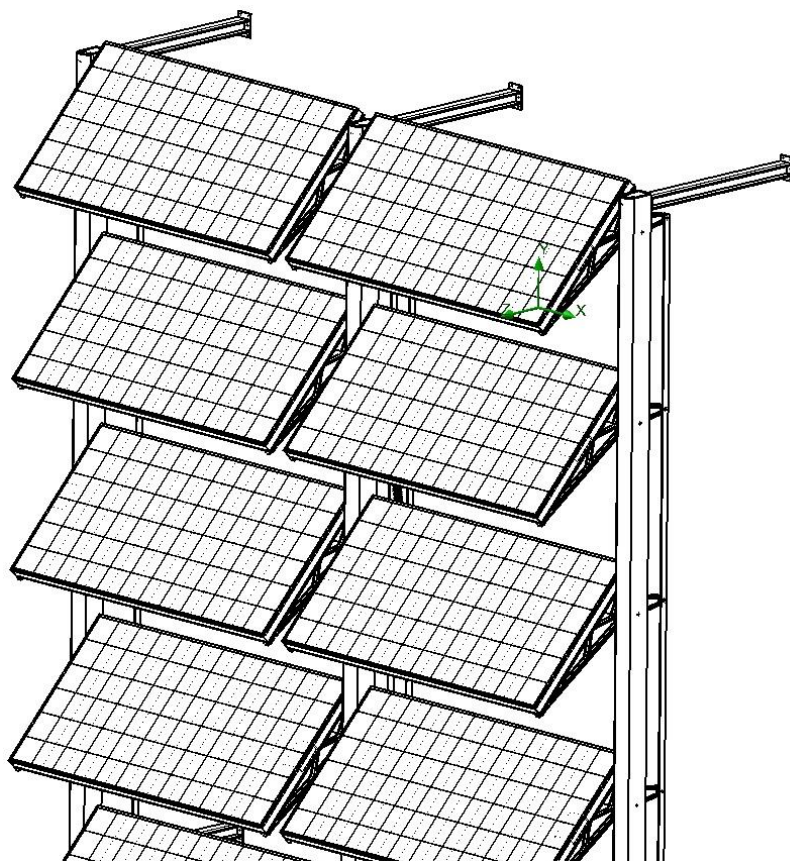
Edifício Justiça Federal (Juiz de Fora / MG)
Fachada Norte - Escala 1/300

Fonte: Cedido pela Administração do Edifício.

ANEXO 3 –
Desenhos *Brise-Soleil* Fotovoltaico



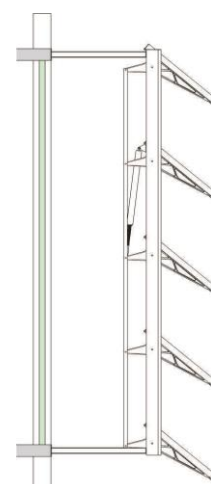
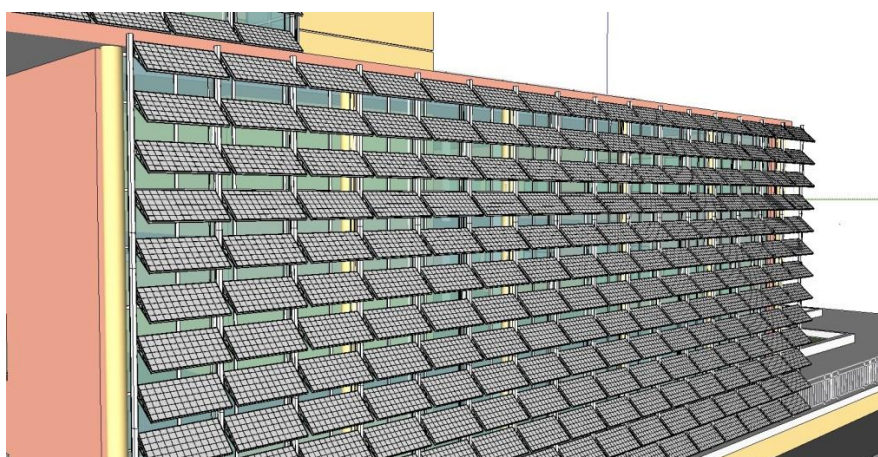
Brise-soleil fotovoltaico
Fonte: Autora



Brise-soleil fotovoltaico
Fonte: Autora

ANEXO 4 –

Brise-Soleil Fotovoltaico Aplicado a Edificação



Brise-soleil fotovoltaico aplicado na edificação
Fonte: Autora

ANEXO 5 –

Lista de Equipamentos do Ar –Condicionado Edifício da Justiça Federal



PODER JUDICIÁRIO
SUBSEÇÃO JUDICIÁRIA DE JUIZ DE FORA/MG
GABINETE DO JUIZ FEDERAL DIRETOR

ANEXO 03

RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Sistema de ar-condicionado central:

Quant.	ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS
02	Chiller Hitachi, RCU 100 SAZ, de 100 TRS cada.
02	Bombas KSB, MEGABLOC 100 – 250, primária, 25 Cv, 55 m ³ /h e 18 Mca.
02	Bombas KSB, MEGALINE 80 – 200, secundária, 7,5 CV, 142 m ³ /h e 28 Mca.
01	Bomba de água de reposição – 10 m ³ /h e 15 Mca.
01	Fan Coil Hitachi, TCA – NT 20 TC / TCA – NT – 20 VT.
07	Fan Coils Hitachi, TCA – NT 25 TC / TCA – NT 25 VT.
03	Fan Coils Hitachi TCA - NT 15 TC / TCA – NT 15 VT.
04	Fancoletes Hitachi, tipo Cassete, TCCD 42 A, de 3,2 R=TRS cada.
03	Splits Hitachi, tipo piso x teto, RCP025 / RAA025, de 30.000 BTUS cada.
01	Split Hitachi, tipo Hi Wall, RKP020B / RAA020, de 24.000 BTUS.
02	ventiladores centrífugos de dupla aspiração, marca Berliner Luft, BSD 500, de 9.100 m ³ /h e 25 mmca.
01	caixa ventiladora de, marca Berliner Luft, BBS 355, bde 6.600 m ³ /h e 20 mmca.
19	caixas ventiladoras de forro, marca Berliner Luft, MGS 160, de 300 m ³ /h.
02	caixas exaustoras, marca Berliner Luft, MGD 160-4, de 440 m ³ /h e 15 mmca.
01	quadro elétrico e de comando da CAG.
11	quadros elétricos e de comando dos Fan Coils.
03	quadros elétricos e de comando dos exaustores.
11	atuadores proporcionais e termostatos de controle das válvulas de duas vias que alimentam os fan coils, marca Tour Andersson.
04	atuadores on-off e termostatos de controle das válvulas de duas vias dos fancoletes, marca Tour Andersson.
12	atuadores e termostatos para controle dos dampers automáticos, Tour Andersson.
02	transdutores de pressão diferencial – Dan foss.
02	variadores de pressão, 220 V – 25 C V - marca WEG, de controle das bombas.

Fonte: Cedido pela Administração.