



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO - PósARQ**

Lucas Arango Díaz

**ENSAIO DO MÉTODO PARA ANÁLISE INTEGRADA DA
ILUMINAÇÃO NATURAL E DA CONVENIÊNCIA SOLAR**

Linha de pesquisa: Comportamento Ambiental do Espaço Urbano
e das Edificações.

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do Título
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador:

Prof. Dr. Anderson Claro

Florianópolis

2011

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

D542e Díaz, Lucas Arango
Ensaio do método para análise integrada da iluminação natural e da conveniência solar [dissertação] / Lucas Arango Díaz ; orientador, Anderson Claro. - Florianópolis, SC, 2011. 193 p.: il., grafs., tabs., plantas

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências

1. Arquitetura. 2. Iluminação natural. 3. Conforto térmico. I. Claro, Anderson. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDU 72

Lucas Arango Díaz

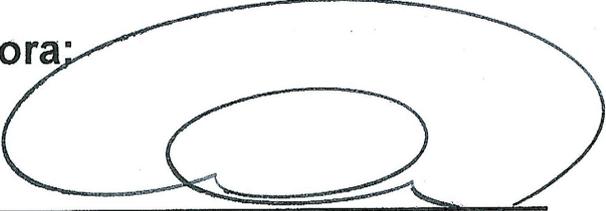
**ENSAIO DO MÉTODO PARA ANÁLISE INTEGRADA DA
ILUMINAÇÃO NATURAL E DA CONVENIÊNCIA SOLAR**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de "MESTRE", e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Pósarq

Florianópolis, 21 de junho de 2011.

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD.
Coordenador do Curso

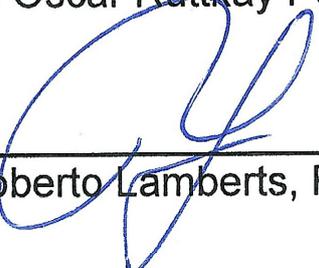
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Anderson Claro - Orientador - UFSC



Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Ph.D. - UFSC



Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. - UFSC



Prof. Dr. Paulo Sérgio Scarazzato - USP

A mi familia y a mi Lupe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio e à minha namorada, Luisa, pela paciência e compreensão.

Ao pessoal de PVG

À colônia colombiana, Natalia, Andrea, Ricardo e Alejandro.

Aos colegas do Labcon, Marcelo, Carol, Rapha, Ludmila, Rô, Leticia, Ana Paula, Ana Beatriz, Agostinho, Veri, Eva, Luiza, Mary... Minha família no Brasil.

Aos professores Anderson Claro, Fernando Ruttkay, Roberto Lamberts, Fernando Westphal e Paulo Sérgio Scarazatto.

Às amigas que me receberam, Milena, Elena, Andréia e Juliana.

Aos colegas do Labeee

Ao pessoal do Programa do Pos-ARQ, muito especialmente à Ivonete.

À Capes pela bolsa de estudo.

A todos os que contribuíram para a realização desta pesquisa: Muchas Gracias!!!

“Não posso definir o espaço como tal sem a luz natural”

(Louis Kahn)

RESUMO

No projeto arquitetônico, a concepção da fachada requer a consideração simultânea de diferentes condicionantes, como a incidência solar e a admissão e distribuição luminosa. Essas condicionantes interferem no atendimento das exigências térmicas e luminosas do projeto. Contudo, as medidas adotadas para cumprir uma dessas exigências podem comprometer o atendimento da outra. Portanto, na busca de um equilíbrio entre as prioridades térmicas e luminosas que atenda das duas exigências, faz-se necessário o estudo integrado das variáveis que interferem neles. Contudo, a procura desse equilíbrio deve ser realizada desde as fases iniciais do processo projetual e não apenas nas fases finais. Esta pesquisa consiste em um ensaio metodológico cujo objetivo é facilitar a avaliação do desempenho de sistemas de fachada, de forma simultânea, na admissão e na distribuição interna da luz natural e na conveniência da incidência solar. A metodologia adotada compreendeu a integração de métodos e de ferramentas para a estimativa das variáveis de estudo e a proposição de um diagrama que permitisse uma visualização clara dos resultados. Além disso, a fim de testar o ensaio metodológico, foram realizadas simulações computacionais de ambientes de escritórios, com diferentes opções de fachada em várias orientações. Os resultados dos testes evidenciaram as diferenças no desempenho simultâneo, na conveniência solar e na iluminação natural, quando modificados a orientação, o tamanho da janela e o tipo de dispositivo de sombreamento. O Diagrama Integrador demonstrou ser uma ferramenta útil para proporcionar uma visualização preliminar e uma comparação desses desempenhos. Em geral, a aplicação da metodologia proposta permite identificar as características de fachada que melhor auxiliam para que se alcance o melhor desempenho combinado das exigências luminosas e térmicas. Essa identificação se constitui em informação valiosa para processo de aperfeiçoamento arquitetônico da fachada.

Palavras-chave: Arquitetura. Integração. Iluminação Natural. Conveniência Solar.

ABSTRACT

In architecture, facade design requires simultaneous consideration of different conditions, like sunlight, daylight admission and daylight distribution. These conditions interfere with the achievement of thermal and daylighting requirements of the project. However, the strategies adopted to achieve any of those requirements could affect the achievement of another one. Therefore, it is necessary to consider simultaneously the variables that affect the achievement of both, thermal and daylight requirements. The search for the double attendant should be performed from the early stages of the design process, when substantial changes can still be made. This research is about an essay methodology that aims to enable early evaluations of the facade performance, simultaneously in the daylight admission, daylight distribution and solar convenience. The methodology involved the integration of methods and tools for the estimation of the mentioned variables. It also involved the proposition of a Graphic System of Variables Integration that allows a clear visualization of results. In addition, in order to test the essay methodology, computer simulations were performed for a hypothetical office environment, with different options of facade and orientations. The test results showed differences in simultaneous solar convenience and daylighting performances when modifications in orientation, windows size and type of shading devices are done. The Graphic System created for the variables integration demonstrates that it is useful to obtain a preliminary view and to compare these solar convenience and daylighting performances simultaneously. In general, the proposed methodology allows identifying the facade characteristics that certainly help the double attendant of lighting and thermal requirements. This identification is essential information in the improvement of facade process.

Keywords: Architecture. Integration. Daylighting. Solar Convenience

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quadro resumo do problema.....	2
Figura 2 - Quadro resumo da justificativa	5
Figura 3 - Distribuição das luminâncias na abóboda celeste para os 15 tipos de céu. Imagem realizada para o dia 21 de dezembro às 12 horas. Florianópolis – SC.	13
Figura 4 - Valores “ <i>n</i> ” colocados na carta solar de Florianópolis. Fachada Norte.....	23
Figura 5 - Mascaramento sobre diagrama solar de Florianópolis (fachada Norte) com Valores <i>n</i>	24
Figura 6 - Avaliação do dispositivo de sombreamento através de “ <i>Cellular Method</i> ”.....	30
Figura 7 - Carta solar para a fachada Norte de uma sala comercial em Florianópolis, com períodos do ano destacados de acordo com a conveniência de Sol ou de sombra.	32
Figura 8 - Esquema do dispositivo de sombreamento proposto.....	33
Figura 9 - Percentagem da área do vidro exposta à radiação solar direta. Sistema de elementos verticais de proteção solar. <i>Fachada Este. Plaza de la Libertad. Medellín.</i>	36
Figura 10 - Média de horas de exposição solar nas horas da manhã. <i>Torre Leste. Plaza de La Libertad Medellín.</i>	37
Figura 11 - Análise da irradiação através do método STIMAP.....	38
Figura 12 - “ <i>Temporal map</i> ” sala de escritórios na Bélgica.	39
Figura 13 - “ <i>Temporal map</i> ” Escala triangular.	40
Figura 14 - Impacto da orientação da fachada na iluminação natural e na incidência solar.....	49
Figura 15 - Resultado 1 da aplicação da ferramenta <i>Soluzna</i> em uma sala localizada em Madri	50
Figura 16 - Resultado 2 da aplicação da ferramenta <i>Soluzna</i> em uma sala localizada em Madri	51
Figura 17 - Interface de análise de projetos de Lightsolve.	52
Figura 18 - Desempenho de dispositivos de sombreamento.....	54
Figura 19 - Considerações finais da revisão da literatura.....	55
Figura 20 - Quadro resumo da metodologia	57
Figura 21 - DDC exemplo. Fachada Norte.	60
Figura 22 - DRC exemplo.	60
Figura 23 - Diagrama de Integração das Variáveis.	62
Figura 24 - Síntese do total de simulações.....	68
Figura 25 - Gráfico curvas isoUDI-útil.....	69
Figura 26 - Distribuição de áreas segundo UDI-útil (DAU).....	70
Figura 27 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada N.....	74
Figura 28 - DAU. Fachada Norte	76
Figura 29 - Diagrama de Integração das Variáveis. Norte.....	78
Figura 30 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada ND.	79

Figura 31 -	DAU. Fachada Nordeste	81
Figura 32 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Nordeste.....	83
Figura 33 -	Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada E.....	85
Figura 34 -	DAU. Fachada Este.....	87
Figura 35 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Leste	88
Figura 36 -	Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada SE.	90
Figura 37 -	DAU. Fachada Sudeste.....	92
Figura 38 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Sudeste	93
Figura 39 -	Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada S.....	96
Figura 40 -	DAU. Fachada Sul.....	97
Figura 41 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Sul	99
Figura 42 -	Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada SO.....	101
Figura 43 -	DAU. Fachada Sudoeste.....	102
Figura 44 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Sudoeste	104
Figura 45 -	Gráficos com curvas isoUDI-útil. Oeste.	106
Figura 46 -	DAU. Fachada Oeste	107
Figura 47 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Oeste.....	109
Figura 48 -	Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada NO.....	111
Figura 49 -	DAU. Fachada Noroeste	113
Figura 50 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Noroeste.....	114
Figura 51 -	Diagrama de Integração Final	118
Figura 52 -	Período simulações consumo energético	122
Figura 53 -	Localização dos pontos para o cálculo do MPAE	125
Figura 54 -	DRC de RSPdf caso N05	125
Figura 55 -	DRC de RSPdf caso N06	126
Figura 56 -	DRC de RSPdf caso N07	126
Figura 57 -	DRC de RSPdf caso N08	126
Figura 58 -	DDC. Fachada Norte	147
Figura 59 -	DDC. Fachada Nordeste.....	148
Figura 60 -	DDC. Fachada Leste.....	148
Figura 61 -	DDC. Fachada Sudeste.	149
Figura 62 -	DDC. Fachada Sul.	149
Figura 63 -	DDC. Fachada Sudoeste	150
Figura 64 -	DDC. Fachada Oeste.....	150
Figura 65 -	DDC. Fachada Noreste	151
Figura 66 -	DRC de N01	151
Figura 67 -	DRC de N02	152
Figura 68 -	DRC de N03	152
Figura 69 -	DRC de N04	152
Figura 70 -	DRC de N05	153
Figura 71 -	DRC de N06	153
Figura 72 -	DRC de N07	153
Figura 73 -	DRC de N08	154
Figura 74 -	DRC de N09	154
Figura 75 -	DRC de N10	154

Figura 76 -	DRC de N11	155
Figura 77 -	DRC de N01	155
Figura 78 -	DRC de ND01.....	155
Figura 79 -	DRC de ND02.....	156
Figura 80 -	DRC de ND03.....	156
Figura 81 -	DRC de ND04.....	156
Figura 82 -	DRC de ND05.....	157
Figura 83 -	DRC de ND06.....	157
Figura 84 -	DRC de ND07.....	157
Figura 85 -	DRC de ND08.....	158
Figura 86 -	DRC de ND09.....	158
Figura 87 -	DRC de ND10.....	158
Figura 88 -	DRC de ND11.....	159
Figura 89 -	DRC de ND12.....	159
Figura 90 -	DRC de E01	159
Figura 91 -	DRC de E02	160
Figura 92 -	DRC de E03	160
Figura 93 -	DRC de E04	160
Figura 94 -	DRC de E05	161
Figura 95 -	DRC de E06	161
Figura 96 -	DRC de E07	161
Figura 97 -	DRC de E08	162
Figura 98 -	DRC de E09	162
Figura 99 -	DRC de E10	162
Figura 100 -	DRC de E11	163
Figura 101 -	DRC de E12	163
Figura 102 -	DRC de SE01.....	163
Figura 103 -	DRC de SE02.....	164
Figura 104 -	DRC de SE03.....	164
Figura 105 -	DRC de SE04.....	164
Figura 106 -	DRC de SE05.....	165
Figura 107 -	DRC de SE06.....	165
Figura 108 -	DRC de SE07.....	165
Figura 109 -	DRC de SE08.....	166
Figura 110 -	DRC de SE09.....	166
Figura 111 -	DRC de SE10.....	166
Figura 112 -	DRC de SE11.....	167
Figura 113 -	DRC de SE12.....	167
Figura 114 -	DRC de S01	167
Figura 115 -	DRC de S02	168
Figura 116 -	DRC de S03	168
Figura 117 -	DRC de S04	168
Figura 118 -	DRC de S05	169
Figura 119 -	DRC de S06	169
Figura 120 -	DRC de S07	169

Figura 121 -	DRC de S08	170
Figura 122 -	DRC de S09	170
Figura 123 -	DRC de S10	170
Figura 124 -	DRC de S11	171
Figura 125 -	DRC de S12	171
Figura 126 -	DRC de SO01	171
Figura 127 -	DRC de SO02	172
Figura 128 -	DRC de SO03	172
Figura 129 -	DRC de SO04	172
Figura 130 -	DRC de SO05	173
Figura 131 -	DRC de SO06	173
Figura 132 -	DRC de SO07	173
Figura 133 -	DRC de SO08	174
Figura 134 -	DRC de SO09	174
Figura 135 -	DRC de SO10	174
Figura 136 -	DRC de SO11	175
Figura 137 -	DRC de SO12	175
Figura 138 -	DRC de O01	175
Figura 139 -	DRC de O02	176
Figura 140 -	DRC de O03	176
Figura 141 -	DRC de O04	176
Figura 142 -	DRC de O05	177
Figura 143 -	DRC de O06	177
Figura 144 -	DRC de O07	177
Figura 145 -	DRC de O08	178
Figura 146 -	DRC de O09	178
Figura 147 -	DRC de O10	178
Figura 148 -	DRC de O11	179
Figura 149 -	DRC de O12	179
Figura 150 -	DRC de NO01	179
Figura 151 -	DRC de NO02	180
Figura 152 -	DRC de NO03	180
Figura 153 -	DRC de NO04	180
Figura 154 -	DRC de NO05	181
Figura 155 -	DRC de NO06	181
Figura 156 -	DRC de NO07	181
Figura 157 -	DRC de NO08	182
Figura 158 -	DRC de NO09	182
Figura 159 -	DRC de NO10	182
Figura 160 -	DRC de NO11	183
Figura 161 -	DRC de NO12	183
Figura 162 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 01	184
Figura 163 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 02	184
Figura 164 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 03	185
Figura 165 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 04	185

Figura 166 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 05	186
Figura 167 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 06	187
Figura 168 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 07	187
Figura 169 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 08	188
Figura 170 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 09	189
Figura 171 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 10	190
Figura 172 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 11	190
Figura 173 -	Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 12	191

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de Céu adotados pela CIE	12
Tabela 2 - Programas de simulação dinâmica da luz natural.	15
Tabela 3 - Equações para o cálculo da temperatura neutra.	17
Tabela 4 - Valor multiplicador hora a hora (função seno).	21
Tabela 5 - Somatória de radiações diretas ponderadas	24
Tabela 6 - Somatória de radiações difusas	25
Tabela 7 - Somatória de radiações difusas	29
Tabela 8 - Tipos de janela	63
Tabela 9 - Tipos de dispositivos de controle solar. Ilustrações com a janela cód. J50 (PAF 55,5%).	64
Tabela 10 - Combinações de janela e dispositivo de sombreamento correspondente a cada número de identificação.	65
Tabela 11 - Dados de entrada para modelos.	65
Tabela 12 - Dados de entrada para modelos sem proteção solar.	67
Tabela 13 - V_{aci} [°C]. Acréscimos na Temperatura Ambiente devidos à carga térmica interna.	67
Tabela 14 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Norte	73
Tabela 15 - Resumo RSP admitidas. Fachada Norte	77
Tabela 16 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Nordeste.	78
Tabela 17 - Resumo RSP admitidas. Fachada Nordeste.	82
Tabela 18 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Leste	84
Tabela 19 - Resumo RSP admitidas. Fachada Este	88
Tabela 20 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Sudeste	89
Tabela 21 - Resumo RSP admitidas. Fachada Sudeste	93
Tabela 22 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Sul	94
Tabela 23 - Resumo RSP admitidas. Fachada Sul	98
Tabela 24 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Sudoeste	99
Tabela 25 - Resumo RSP admitidas. Fachada Sudoeste	103
Tabela 26 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Oeste.	105
Tabela 27 - Resumo RSP admitidas. Fachada Oeste	109
Tabela 28 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Noroeste.	110
Tabela 29 - Resumo RSP admitidas. Fachada Noroeste	113
Tabela 30 - Teste para o cálculo de RSP.	119
Tabela 31 - Conveniência Solar vs. Simulações Energéticas	123
Tabela 32 - Somatória RSP e RSPdf.	127
Tabela 33 - Temperatura Neutra. Modelo de Xavier (1999).	146
Tabela 34 - Temperatura Dia Mensal Típico – Florianópolis.	146
Tabela 35 - Temperatura Média das Máximas e Temperatura Média das Mínimas. Florianópolis.	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AJAN – Área total da Janela
AEJ – Área ensolarada da Janela
Apt – Área Plano de Trabalho
ATF – Área Total Fachada
Af – Área da parede externa
Ag – Área de envidraçamento
CIE – Commission Internationale de l'Eclairage
CI – Carga Térmica Interna
Cv – Perdas de calor por ventilação
DA – Daylight Autonomy
DAcon – Continuous Daylight Autonomy
DAmáx – Maximum Daylight Autonomy
DAU – Gráficos de distribuição da área de acordo com UDI_{útil}
DDC – Diagrama Diagnóstico de Conveniência
DRC – Diagrama Resultante de Conveniência
DF – Daylight Factor
FP – Fator de ponderação
Fs – Fator Solar Envidraçado
Gi – *G-value* ideal
Gipt – *G-value* ideal horário para um período de tempo
Gjan – *G-value* da janela
Gshd – *G-value* do dispositivo de sombreamento
Qsun – Ganho solar total no interior
Gsys – Transmitância Total de Energia Solar de um Sistema de Fachada
IEA – International Energy Agency
It – Radiação total média diária
m – Radiação Solar Difusa Ponderada
MPAE – Média das percentagens da área da abóbada celeste enxergada pela janela
n – Radiação Solar Direta Ponderada método original
+n – Valores convenientes da Radiação Solar Direta Ponderada
-n – Valores inconvenientes Radiação Solar Direta Ponderada
PAF – Percentual de Área de abertura na fachada
PALN – Percentual de Aproveitamento da Luz Natural
PMV – Voto Médio Estimado
PPD – Percentagem de Pessoas Insatisfeitas
Qcool – Consumo elétrico em refrigeração por hora

\bar{Q}_c – Ganho Casual Médio
 \bar{Q}_s – Calor Total Existente
 \bar{Q}_{sd} – Ganho do Calor Solar Desejável
 \bar{Q}_{td} – Ganho do Calor Total Desejável
NRCC – National Research Council Canada
RSD – Radiação Solar Direta
RSDf – Radiação Solar Difusa
RSP – Radiação Solar Direta Ponderada do método proposto
RSP+ – Valores de Radiação Solar Direta Conveniente método proposto
RSP- – Valores de Radiação Solar Direta Inconveniente método proposto
RSPdf – Radiação Solar Difusa Ponderada no método proposto
RSPfinal – Somatória dos valores RSP
RSP+final – Somatória dos valores RSP+
RSP-final – Somatória dos valores RSP-
SHGCd – Fator de Ganho Térmico Solar Desejável em aberturas
STIMAP – Spatio-Temporal irradiation mapping
Tar – Temperatura do Ar
Tam – Temperatura Ambiente
Tao – Temperatura externa média
Tei – Temperatura ambiental interna média desejável
Teo – Temperatura sol-ar média
Tdt – Temperatura Dia Mensal Típico
Tm – Temperatura Média Mensal
Tmax – Temperatura Média das Máximas
Tmin – Temperatura Média das Mínimas
Tn – Temperatura Neutra
Trm – Temperatura Radiante Média interior
TRY – Test Reference Year
UDI – Useful Daylight Illuminances
Uf – Transmissividade térmica da parede externa
Ug – Transmissividade térmica da janela
Vaci – Acréscimo na Temperatura Ambiente devido à carga interna
Va – Volume do ambiente
Vm – Valor Multiplicador
 \bar{x} – Média
 σ – Desvio Padrão

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	20
Equação 2.....	21
Equação 3.....	21
Equação 4.....	22
Equação 5.....	23
Equação 6.....	25
Equação 7.....	27
Equação 8.....	27
Equação 9.....	28
Equação 10.....	29
Equação 11.....	29
Equação 12.....	30
Equação 13.....	58
Equação 14.....	58
Equação 15.....	59
Equação 16.....	66
Equação 17.....	124

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Problema	1
1.2	Justificativa	3
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	Objetivo geral.....	5
1.3.2	Objetivos específicos.....	5
1.4	Estrutura do trabalho	6
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	Aberturas	7
2.2	Conforto visual.....	8
2.3	Luz natural no plano de trabalho.....	9
2.3.1	Métricas de avaliação quantitativa da luz natural.....	9
2.3.2	O Sol e o céu como fontes de luz.....	11
2.3.3	Simulação luminosa.....	13
2.3.4	Daysim.....	16
2.4	Conforto térmico	16
2.5	Radiação solar incidente	18
2.5.1	Conveniência da incidência solar	19
2.5.2	Apolux.....	33
2.6	Carga térmica interna	34
2.7	Representação gráfica de cálculos luminosos e de incidência solar.....	35
2.8	Influência dos dispositivos externos de controle solar na iluminação natural.....	40
3.	METODOLOGIA	56
3.1	Síntese metodológica	56
3.2	Métrica na estimativa da luz natural	57
3.3	Método de estimativa da Conveniência Solar	58
3.4	Integração das variáveis.....	61
3.5	Modelo de estudo	62
3.5.1	Aberturas	63
3.5.2	Dispositivos de controle solar	63
3.5.3	Nomenclatura	64
3.6	Cálculo das variáveis.....	65
3.6.1	Luz Natural	65
3.6.2	Conveniência da incidência solar	66
3.6.3	Síntese do total de simulações.....	68

3.7	Processamento e análise dos dados	68
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1	Etapa 1. Iluminação Natural e Conveniência Solar.....	72
4.1.1	Fachada Norte.....	73
4.1.2	Fachada Nordeste.....	78
4.1.3	Fachada Leste.....	83
4.1.4	Fachada Sudeste	89
4.1.5	Fachada Sul	94
4.1.6	Fachada Sudoeste	99
4.1.7	Fachada Oeste.....	104
4.1.8	Fachada Noroeste.....	110
4.2	Etapa 2	115
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DA CONVENIÊNCIA SOLAR NO ENSAIO DO MÉTODO de análise integrada	119
5.1	Complemento ao método original	119
5.2	Uso do método de Conveniência Solar.....	121
5.3	Radiação Solar Difusa Ponderada	123
6.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	128
6.1	Conclusões.....	128
6.2	Limitações do trabalho	132
6.3	Sugestões para trabalhos futuros	133
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
8.	APÊNDICE.....	146
8.1	Temperatura Média Mensal e Temperatura Neutra (Módulo Xavier).	146
8.2	Temperatura Dia Mensal Típico [°C]. Florianópolis	146
8.3	Temperatura Média das Máximas e Temperatura Média das Mínimas.	147
8.4	Diagramas Diagnóstico de Conveniência Solar.	147
8.5	Diagramas Resultantes de Conveniência Solar.....	151
8.6	Diagramas de Integração das Variáveis. Agrupações por caso em todas as orientações.	184

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problema

Na arquitetura, a responsabilidade por permitir a interação do espaço interior com o exterior recai sobre a envoltória, na qual as aberturas têm um papel importante. É principalmente através delas que se exerce o controle da admissão e da distribuição da luz natural, o contato visual com o exterior, o intercâmbio de calor e as renovações de ar, além de serem elementos fundamentais da composição arquitetônica. Essa diversidade de funções faz com que no desenho das aberturas intervenham simultaneamente requerimentos visuais, térmicos, acústicos, urbanos, estéticos, sociais, históricos, econômicos e estruturais.

Na área de conforto ambiental, os requerimentos visuais e térmicos são amplamente trabalhados. Sob o ponto de vista dos requerimentos visuais, as aberturas são parte fundamental para atingir o adequado desenho luminoso que vise o maior e o melhor uso da iluminação natural. Este se refere ao aproveitamento da luz natural na maior quantidade de superfície de trabalho o máximo de tempo possível, mantendo níveis luminosos necessários, distribuição adequada e evitando o ofuscamento. Sob o ponto de vista dos requerimentos térmicos, para atingir os quesitos que levam a gerar sensação de conforto nas pessoas é importante controlar o ganho de calor devido à energia solar que alcança as superfícies exteriores e interiores. Nesse sentido, as aberturas são importantes porque através delas deve ser controlada a radiação solar direta no interior segundo sua conveniência¹. O desejo expressado pelos ocupantes quanto à presença, ou não, de raios solares no interior de um ambiente também pode ser usado como indicativo da conveniência, ou não, da incidência solar.

Entretanto, no desenho de aberturas, esses requerimentos visuais e térmicos apresentam um conflito de objetivos. Por um lado, as aberturas provêem o interior de visuais ao exterior, permitem à luz natural atingir as superfícies interiores e devem admitir a acessibilidade solar quando conveniente, mas, por outro

¹ Segundo o dicionário Priberam da Língua Portuguesa, a palavra Conveniência pode ser entendida como vantagem, proveito ou utilidade.

lado, devem evitar o ofuscamento e a penetração solar excessiva quando não conveniente (BAKER; STEEMERS, 1993; PEREIRA, 1992; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004). Por conta do consumo energético, nas localidades geográficas com clima tropical, esse conflito tem sido resolvido usualmente dando prioridade aos assuntos térmicos, sacrificando os benefícios da iluminação natural, ou seja, para evitar ganhos solares excessivos, além da orientação e das características geométricas da abertura, são utilizados dispositivos de controle solar.

Sob o ponto de vista dos requerimentos visuais, os dispositivos de controle solar, além de reduzir os riscos de ofuscamento interior, modificam a admissão e a distribuição da luz natural, o que pode impactar de forma positiva ou negativa no conforto visual.

Assim, a orientação da abertura, sua geometria, as propriedades dos envidraçados e os dispositivos de controle solar deveriam ser avaliados simultaneamente a partir das duas abordagens, visual e térmica, de forma a considerar a variabilidade climática ao longo do ano. Acredita-se que essa avaliação permite que se encontre uma solução que gere um desempenho aceitável sob o duplo ponto de vista.

A Figura 1 resume a colocação do problema.

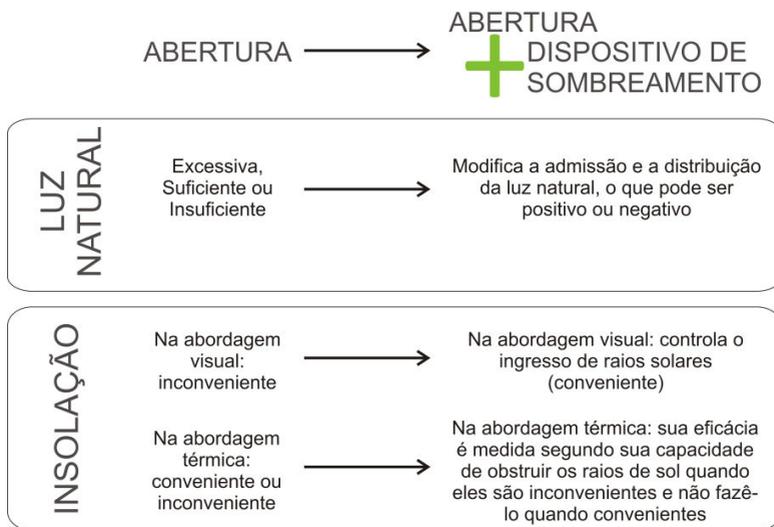


Figura 1 - Quadro resumo do problema

1.2 Justificativa

O conforto ambiental (visual, térmico e acústico) pode ser definido como a sensação psico-fisiológica de bem-estar ou de comodidade associada a alguma característica física do ambiente (luz, ruído, temperatura, umidade, ventilação). Na arquitetura, as aberturas podem influenciar muito nessas sensações. Porém, os fenômenos físicos que as produzem têm sido estudados separadamente e sua integração ao processo de projeto têm acontecido principalmente nas fases finais: não é comum encontrar pesquisas ou soluções arquitetônicas que abordem simultaneamente vários componentes do conforto ambiental, assim como também não é comum encontrar métodos ou ferramentas que auxiliem na incorporação de reflexões ambientais completas desde o estágio inicial do processo projetual.

Para se ter sensação de conforto visual, independente de a fonte ser natural ou artificial, os ambientes devem estar bem iluminados, com suficiente luz, boa distribuição e controle de brilhos e de contrastes. Ter o ambiente iluminado naturalmente pode trazer benefícios psicológicos, melhorar a atitude e o bem estar dos ocupantes, aumentar a produtividade e diminuir o consumo energético, tanto em relação à carga de iluminação como de ar condicionado (IEA, 2000; BAKER; STEEMERS, 2002, BOYCE, 2003).

A forma mais simples de iluminar naturalmente um ambiente é colocar uma abertura lateral (KREMER, 2002): é fácil, de baixo custo, conhecido e às vezes a única solução possível. Mas, estudar individualmente a iluminação natural através de uma abertura lateral não faz sentido se não for considerado o ganho solar.

Na abordagem luminosa, os raios de Sol que penetram no ambiente podem aumentar as luminâncias das superfícies internas, fato que modifica a sensação visual das pessoas. Usualmente, sob esta condição, os usuários das edificações procuram bloquear esses raios de Sol por meio de cortinas, persianas internas ou outros elementos, impedindo o contato visual externo e o acesso à luz natural disponível (PEREIRA, 1992; BOGO, 2007; LAAR, 2001). Esse bloqueio, na maioria dos casos, pode fazer com que os usuários acionem as luminárias, aumentando o consumo energético. Na abordagem térmica, a penetração solar implica ganho de calor, o que, sob o ponto de

vista do consumo energético, pode ser conveniente ou inconveniente segundo o dia do ano, o horário e a latitude.

Para controlar a penetração solar, são usados, entre outras estratégias, dispositivos de sombreamento. Contudo, dispor de elementos de controle solar a partir de considerações térmicas apenas, faz com que se corra o risco de gerar ambientes escuros ou sobreiluminados. Por outro lado, a disposição de elementos de controle solar considerando apenas os requerimentos visuais pode gerar ambientes quentes, expostos à radiação solar direta quando esta é inconveniente, ou frios, com insuficiente ganho de calor por radiação solar direta quando esta torna-se conveniente.

Para resolver o conflito existente e chegar a um desempenho que responda adequadamente aos interesses térmicos e luminosos, as duas variáveis devem ser estudadas simultaneamente nas aberturas e nos dispositivos de controle solar.

Contudo, a procura desse equilíbrio não deve limitar-se a análises de aberturas e de dispositivos de controle solar de maneira estática. Deve considerar a variação aparente da posição solar na abóbada celeste e a variabilidade da distribuição das luminâncias no céu. Nesse sentido, resulta mais eficiente utilizar as simulações computacionais como ferramenta de estudo. Porém, conforme Marsh e Carruthers (1995), Marsh (1996, 2003) e Haghparast e Marsh (2004), embora a simulação computacional tenha longa história na predição do desempenho ambiental de projetos arquitetônicos, não deixa de ser um recurso comumente utilizado nas fases finais do processo projetual, funcionando mais como validação das soluções arquitetônicas propostas. Haghparast e Marsh (2004) insistem na necessidade de criar mecanismos com os quais possam ser obtidos resultados úteis nas simulações, a partir de modelos arquitetônicos incompletos ou sem detalhamento, que posteriormente sejam usados para gerar ou modificar sua geometria visando melhorar o desempenho ambiental do projeto.

A importância desta pesquisa reside na necessidade de otimizar o desempenho das aberturas e dos elementos de controle solar, na iluminação natural e na conveniência da incidência solar. Essa otimização se traduz em manter os níveis adequados de iluminação natural durante o maior tempo possível, valorar a satisfação dos usuários com a incidência solar

e evitar consumos energéticos excessivos em iluminação artificial e ar condicionado, tal como explicado na Figura 2.

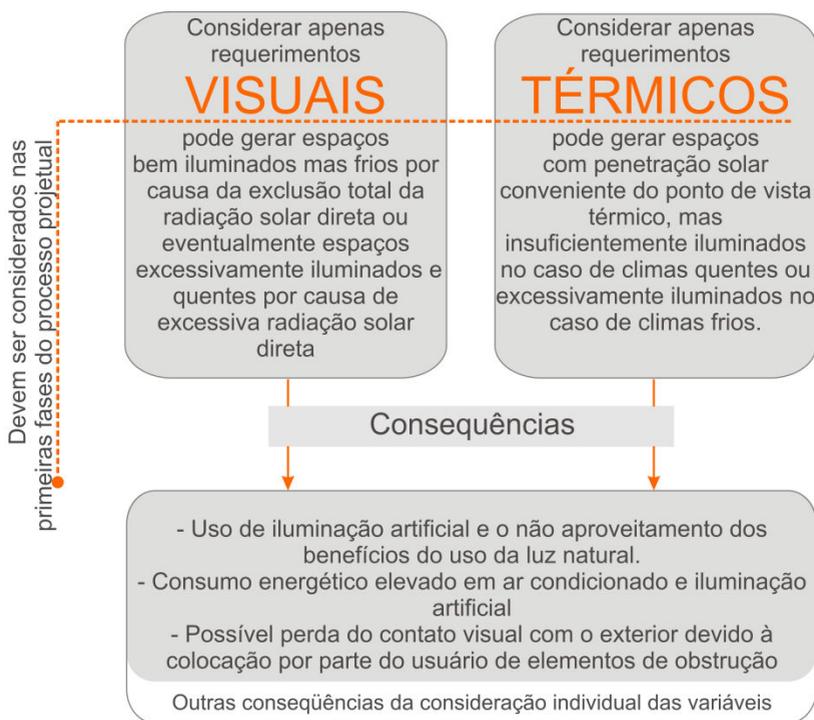


Figura 2 - Quadro resumo da justificativa

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Propor e testar um método de avaliação de aberturas laterais e de dispositivos de controle solar, que considere simultaneamente a conveniência, ou não, da incidência solar e a admissão/distribuição luminosa ao longo do ano.

1.3.2 Objetivos específicos

- Propor um método de avaliação do impacto de aberturas e de dispositivos de sombreamento, na iluminação natural e na conveniência da incidência solar, que possa auxiliar na definição da fachada desde as fases iniciais do processo de elaboração do projeto arquitetónico.

- Propor um sistema gráfico que permita a visualização integrada da avaliação de iluminação natural e de conveniência da incidência solar e que possibilite a comparação dos desempenhos de diferentes sistemas de fachada.

- Comparar o impacto, na iluminação natural e na conveniência da incidência solar, de diferentes opções de fachada, propostas para um ambiente hipotético de escritórios, localizado na cidade de Florianópolis-SC.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em **oito** capítulos. O **primeiro capítulo** corresponde à introdução, onde são explicados o problema de pesquisa, a justificativa do estudo proposto e os objetivos. O **segundo capítulo** corresponde à revisão metódica dos conceitos básicos, que permitem entender o desenvolvimento da pesquisa, de acordo com o que tem sido feito ao respeito e com a forma como outros pesquisadores tem tratado do tema. No **terceiro capítulo** é realizada uma explicação detalhada da metodologia que foi adotada a fim de atingir os objetivos da pesquisa. No **quarto capítulo**, que se divide em duas partes, são analisados os resultados e são colocadas as discussões. No **quinto capítulo** são apresentadas considerações referentes ao método utilizado. O **sexto capítulo** contém as conclusões, assim como as limitações do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros. Por fim, o **sétimo** e o **oitavo capítulo**, correspondem, respectivamente, às referências bibliográficas e à informação complementar colocada como apêndice.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contém a definição geral dos conceitos envolvidos na pesquisa, assim como uma revisão dos avanços científicos relacionados ao tema.

2.1 Aberturas

As aberturas (zenitais ou laterais), além de serem parte importante na composição arquitetônica, são as responsáveis por manter o contato entre o interior e o exterior (PEREIRA, 1992). Várias são as funções a elas atribuídas: segundo Baker e Steemers (2002), ao projetar aberturas devem ser considerados a ventilação, a proteção contra as intempéries, o isolamento do ruído exterior, a iluminação natural e a possibilidade de proporcionar vistas. Tibiriçá (1997) aponta que o balanço das exigências a serem atendidas no desenho das aberturas depende da finalidade para a qual a edificação é projetada, o que implica um conhecimento profundo das necessidades que cada abertura em consonância com o resto que a edificação deve satisfazer.

Devido a questões construtivas e econômicas, a abertura lateral é a mais comum na atualidade. Quanto à função luminosa, Kremer (2002), aponta que a abertura lateral, ou janela, é a forma mais comumente utilizada, mesmo que apresente várias desvantagens, como por exemplo a rápida redução dos níveis luminosos desde o plano da janela até o fundo do ambiente. Como consequência, é verificado ofuscamento na área próxima à janela e grandes contrastes na distribuição da luz no interior. Contudo, segundo Baker e Steemers (2002), as propriedades inerentes à janela (tamanho, posição, forma e orientação) afetam a admissão e distribuição luminosa. O entendimento da relação entre o espaço e a janela, permite ao projetista manipular as propriedades desta a fim de modificar a penetração, a distribuição, a quantidade e a qualidade da luz natural no espaço. Porém, essas modificações afetam também o comportamento térmico dos espaços.

Quanto ao tamanho, Salazar e González (2004) colocam que quanto maior a janela, maior a quantidade de luz no interior. No entanto, por várias razões, as dimensões da janela devem ser limitadas. Uma das razões é o fato de que quanto maior, a janela estará sujeita a maior incidência da radiação solar, o que pode

causar ofuscamento e alta temperatura no interior, traduzida em acréscimos consideráveis nas cargas de refrigeração.

Quanto ao posicionamento, as janelas baixas podem se tornar ineficientes sob o ponto de vista da iluminação, mas evitam a penetração de raios solares nos lugares mais afastados dela, nos ambientes interiores. Por outro lado as janelas altas apresentam uma melhor distribuição da luz natural, e reduzem o risco de ofuscamento por estarem posicionadas acima do campo visual das pessoas, mas impedem o contato visual direto com o exterior e podem expor o ambiente inteiro à radiação solar direta.

Quanto à orientação, Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1966), afirmam que dependendo da latitude existem zonas mais brilhantes da abóbada celeste para as quais as janelas deveriam ser orientadas, visando um maior aproveitamento do recurso da luz natural. Mas esse aproveitamento deve ser balanceado com possíveis ganhos solares segundo convenientes ou não.

Contudo, independente das propriedades inerentes, as janelas laterais devem estar protegidas do ganho solar excessivo e das elevadas luminâncias provenientes da abóbada celeste.

2.2 Conforto visual

Conforto visual pode ser definido como a sensação psicofisiológica que expressa satisfação com o ambiente luminoso ao redor. Portanto, pode-se dizer que o conceito de conforto visual cobre o relacionado com o campo visual e não apenas com o plano de trabalho.

Boyce (2003) aponta que o desconforto visual é um conceito muito relativo já que a sensação que o produz varia segundo o tipo de ambiente, as experiências individuais e os desejos pessoais. Porém, enumera vários aspectos que podem causá-lo: nível luminoso insuficiente ou excessivo, distribuição luminosa inadequada, contraste excessivo e tremulação da fonte (no caso da iluminação artificial). Nesse sentido, Lamberts, Dutra e Pereira (2004) apontam que o conforto visual está relacionado com manter as condições luminosas adequadas para ver bem, com o máximo de acuidade e precisão, sem ter nenhum incômodo visual no ambiente. A IEA (2000) aponta que a correta reprodução das cores também é um aspecto que pode influir positivamente no conforto visual.

2.3 Luz natural no plano de trabalho

Em iluminação, vários trabalhos recentes de diferentes pesquisadores têm se concentrado em dois aspectos que influem no conforto visual: nível e distribuição luminosa no plano de trabalho (LAAR, 2001; KREMER, 2002; WONG; ISTIADJI, 2004; AJMAT; MARDALJEVIC, 2005; DIDONÉ; BITTENCOURT, 2006; BOGO, 2007; MING-CHIN ET AL, 2008).

O nível luminoso, ou iluminância, refere-se ao fluxo luminoso que incide em uma superfície. Historicamente os valores de nível luminoso recomendados para desempenhar uma tarefa visual específica têm variado em cada país. Mills e Borg (1999) colocam que esta variação se deve a considerações económicas (relação da potencia consumida por sistemas de iluminação artificial com a “quantidade” de luz gerada para realizar as tarefas visuais) e diferenças nos pontos de vista sob a quantidade de luz necessária para realizar uma determinada tarefa visual. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas indica os valores de iluminância mínimos a serem atingidos no ambiente de acordo com a tarefa visual (ABNT, 1992).

A distribuição luminosa é um fator importante e está relacionada às variações das iluminâncias no plano de trabalho. Áreas de trabalho com variações acentuadas dos níveis luminosos podem causar desconforto visual nos usuários.

Nível e distribuição luminosa são conceitos utilizados para ambientes iluminados de forma natural e/ou artificial. Porém, várias são as vantagens do uso da iluminação natural sobre o uso da artificial. Corbella e Yannas (2003) apontam que o contato com a luz natural informa às pessoas as variações temporais e climáticas ao longo do dia, além de constituir uma alternativa valiosa para reduzir o consumo de energia elétrica. Adicionalmente, Boubekri (2008) aponta que a luz natural influi diretamente sobre o humor, o estado de ânimo e a produtividade laboral das pessoas.

2.3.1 Métricas de avaliação quantitativa da luz natural

Visando compreender melhor o comportamento da luz natural, técnicas e ferramentas de cálculo têm sido desenvolvidas com o objetivo de quantificar a iluminação natural. Mas a natureza dinâmica da luz natural coloca muitos desafios ao uso de métricas de avaliação que definam um projeto bom e

eficiente do ponto de vista luminoso (ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION, 2006).

Na atualidade, são usadas várias métricas para quantificar o desempenho da luz natural em Arquitetura. Essas métricas são divididas em dois grupos: estáticas e dinâmicas. As estáticas desconsideram a variação da disponibilidade luminosa ao longo do dia e do ano e efetuam cálculos luminosos a partir de um céu de referência. Um exemplo deste grupo é o Fator de Luz Diurna (*Daylight factor, DF*), que é definido como a relação entre a iluminância de um ponto no interior e a iluminância externa desobstruída medida sob um céu nublado padrão. Segundo Reinhart (2006), devido à distribuição luminosa uniforme do céu de referência, a principal limitação no uso desta métrica é a impossibilidade de gerar resultados diferentes quando modificada a orientação.

As dinâmicas surgem devido à necessidade de análises de desempenho luminoso que considerem a variabilidade na disponibilidade da luz natural segundo a latitude e ao longo do dia e do ano. Para isso, fazem uso da Informação Climática² própria de cada localidade. Entre elas destacam-se *Daylight Autonomy (DA)*, *Continuous Daylight Autonomy (DA_{con})*, *Maximum Daylight Autonomy (DA_{max})* e *Useful Daylight Illuminances (UDI)*.

Daylight Autonomy, DA, é a percentagem de tempo no ano, na qual o nível mínimo de iluminância requerido em um ponto do plano de trabalho é atingido usando somente iluminação natural. Essa métrica tem como principal limitação o fato de não detectar altos níveis luminosos como inadequados (inclusive os resultantes da exposição à radiação solar direta) e desconsiderar níveis luminosos menores ao requerido na integração da iluminação natural com a iluminação artificial.

² A informação climática de várias localidades é usualmente encontrada na forma de "Test Reference Year – TRY". TRY contém dados climáticos do ano típico, como temperatura do ar, direção e velocidade do vento, radiação direta e difusa, entre outros. A informação pode ser encontrada no site do Departamento de Energia da América do Norte, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energypus/cfm/weather_data.cfm (Último acesso, 6 de Agosto de 2010)

(ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION, 2006; REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Continuous Daylight Autonomy, DA_{con}, diferentemente da definição dada acima, além do tempo durante o qual o nível luminoso ultrapassa o valor alvo, esta métrica considera o tempo em que o nível luminoso, apesar de ser menor do que o nível alvo, pode contribuir na integração com a iluminação artificial. (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006)

Maximum Daylight Autonomy, DA_{max}, do total de tempo que um local é ocupado no ano, indica a porcentagem na qual o nível luminoso alvo em um ponto do plano de trabalho é excedido em dez vezes.

Useful Daylight Illuminances, UDI, foi proposta por Nabil e Mardaljevic (2005). Diferente do *Daylight Autonomy*, esta métrica, considera três faixas de nível luminoso, insuficiente (<100 lux), útil (entre 100 e 2000 lux) e excessiva (>2000 lux), e indica a porcentagem de horas no ano, na qual o nível luminoso se encontra em cada uma das faixas pré-estabelecidas. (NABIL; MARDALJEVIC, 2005; NABIL; MARDALJEVIC, 2006)

2.3.2.0 Sol e o céu como fontes de luz

A luz do Sol (luz direta) é a principal fonte de luz natural. Mas em espaços internos, é a luz do Sol difundida na atmosfera, e refletida pelas nuvens e as moléculas (luz difusa), a fonte ideal de iluminação. Nos climas com predominância de céus encobertos, é frequente considerar a luz solar direta como fonte de luz desejada. No entanto, cuidados devem ser tomados para evitar desconforto visual e/ou térmico (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1966).

Algumas das características principais da luz natural são sua inconstância e sua variabilidade. A intensidade da luz natural varia com o horário, a época do ano, a latitude, a longitude, a poluição do ar, a quantidade de nuvens e a posição do Sol, todas elas características que definem numericamente o tipo de céu e a distribuição de luminâncias na abóbada celeste. Tradicionalmente, a definição numérica do tipo de céu e da distribuição de luminâncias na abóbada celeste têm sido fatores importantes na realização de cálculos luminosos e em consequência, vários modelos teóricos de céu têm sido desenvolvidos ao longo da história.

Até o ano de 2002, a *Commission Internationale de l'Eclairage (CIE)* havia adotado três modelos teóricos de céu que eram utilizados em avaliações estáticas. Os modelos abrangiam os extremos de céu (completamente encoberto e limpo) e um modelo de céu intermediário (parcialmente encoberto). A partir de 2002, a *CIE* adotou uma classificação de modelos teóricos de céu (ver Tabela 1) baseando-se nos estudos de Perez, Seals, Michalsky (1993), Kitler, Perez, e Darula (1997) e Darula e Kitler, (2002).

O objetivo desta nova adoção foi reproduzir distribuições de luminâncias teóricas na abóbada a partir da combinação de diferentes fórmulas, da inserção de valores climáticos, da latitude, da longitude, do horário e da data. Como resultado obteve-se quinze modelos de céu, sendo cinco nublados, cinco parcialmente nublados e cinco limpos. Esses quinze modelos são usados nas avaliações dinâmicas de luz natural (ver Figura 3).

Tabela 1 - Modelos de Céu adotados pela CIE

(Adap. de ISO15469:2004 Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky)

Tipo	Descrição
1	Céu encoberto padrão, graduação intensa de luminâncias em direção ao zênite, com uniformidade nos azimutes
2	Céu encoberto, graduação intensa de luminâncias em direção ao zênite, com suave brilho em direção ao Sol
3	Céu encoberto, moderadamente graduado, com uniformidade nos azimutes
4	Céu encoberto, moderadamente graduado, com suave brilho em direção ao Sol
5	Céu de Luminância Uniforme
6	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com suave brilho em direção ao Sol
7	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com região circunsolar brilhante
8	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com coroa Solar distinta
9	Parcialmente nublado, com o Sol obscurecido
10	Parcialmente nublado, com região circunsolar brilhante
11	Céu Branco-Azul, com coroa solar distinta
12	Padrão Céu Claro CIE, com luminâncias de baixa turbidez.
13	Padrão Céu Claro CIE, com atmosfera poluída
14	Céu Turvado Sem Nuvens, com ampla coroa solar
15	Céu Turvado Branco-Azul, com ampla coroa solar

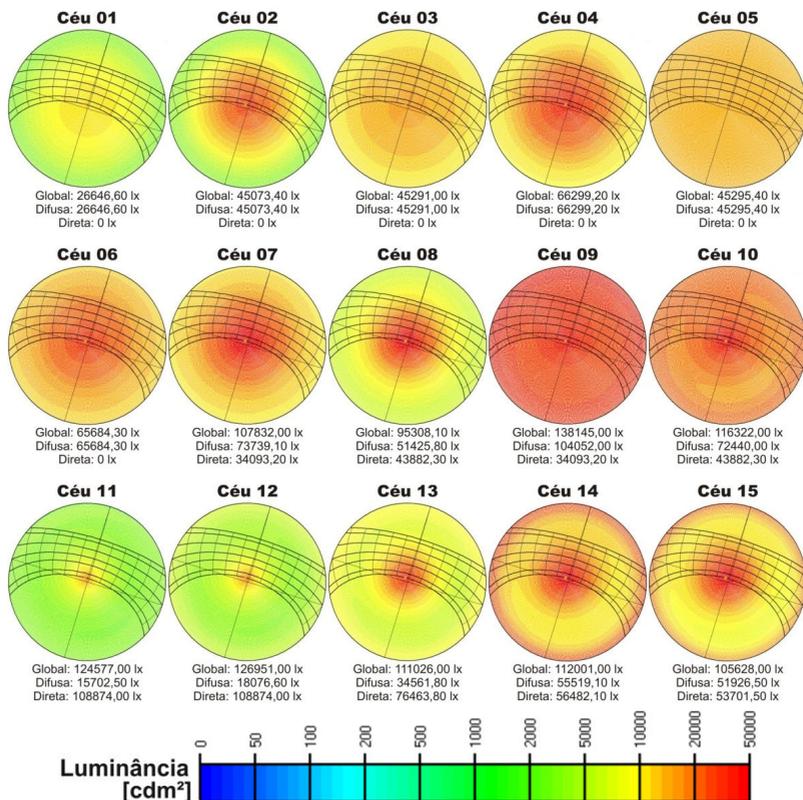


Figura 3 - Distribuição das luminâncias na abóboda celeste para os 15 tipos de céu. Imagem realizada para o dia 21 de dezembro às 12 horas. Florianópolis – SC. (Adaptada de: Claro, A. et al., 2010, p.4)

2.3.3 Simulação luminosa

Nos últimos anos, a simulação computacional vem ganhando força em relação a outros métodos de avaliação quantitativa e qualitativa da luz natural. Segundo Mardaljevic (2004), a simulação computacional oferece uma série de vantagens quando comparada com técnicas que envolvem a construção de modelos físicos, devido à velocidade na construção dos modelos, à facilidade na produção de imagens e de vídeos e à variedade de opções de visualização dos resultados.

A simulação computacional de iluminação natural tem provado ser uma ferramenta confiável e poderosa para estudar o

desempenho luminoso de espaços interiores e exteriores. Até hoje, muitas análises de luz natural têm sido desenvolvidas utilizando este método de cálculo. Além disso, vários estudos foram realizados para validar as ferramentas digitais que realizam cálculos luminosos (REINHART; WALKENHORST, 2001; CHRISTAKOU 2004; CARVALHO, 2009; PEREIRA, 2009)

Atualmente existem duas abordagens computacionais usadas nos programas de simulação de iluminação natural: *Radiosity* (Radiosidade) e *Ray-tracing* (Traçado do raio).

O método da Radiosidade foi originalmente desenvolvido para analisar a transferência de calor entre superfícies baseando-se no Fator de Forma³. Na atualidade, o método é usado para analisar as trocas de energia luminosa entre superfícies. Essas superfícies, segundo Reinhart (2006), são tratadas como emissoras perfeitamente difusas com uma luminância constante que faz com que a troca de energia entre as duas superfícies seja descrita com um número, cujo valor depende das propriedades ópticas dos materiais e da geometria do local de cálculo.

O método *Ray-tracing*, segundo Claro (1998), pode ser entendido resumidamente como a perseguição ao traçado deixado por um raio luminoso.

“O conceito básico é que o observador vê um ponto em uma superfície como resultado da interação entre a superfície, naquele ponto, com os raios emanados de qualquer lugar na cena, seja através da iluminação direta de uma fonte, seja por reflexão ou refração na incidência sobre outras superfícies.” (CLARO, 1998, p.8)

As vantagens deste método consistem na capacidade de análise de superfícies especulares, mas a dependência do ponto de vista do observador implica em um novo cálculo para cada mudança da visualização.

³ Conforme Tregenza (1993) o fator de forma pode ser definido como a “fração de radiação que deixa um elemento de superfície finita e atinge outro”.

Os cálculos das simulações luminosas podem ser realizados baseando-se em avaliações estáticas ou dinâmicas. A principal vantagem das simulações dinâmicas sobre as estáticas é a consideração de variações geográficas e climáticas ao longo do dia e do ano. Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006), colocam que vários estudos têm demonstrado que o método *Ray-tracing* (utilizado no programa *Radiance*⁴), combinado com o método *Daylight Coefficient*⁵ e com os modelos de céu de Pérez (PEREZ; SEALS; MICHALSKY,1993), fornecem cálculos confiáveis e efetivos da luminância e da iluminância no interior dos ambientes.

A Tabela 2 lista alguns programas disponíveis que se baseiam no *Radiance* para realizar simulações dinâmicas. (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006)

Tabela 2 - Programas de simulação dinâmica da luz natural.
(Adaptada de: Reinhart; Mardaljevic; Rogers, 2006, p.9)

Programa	Motor de simulação	Algoritmos de simulação dinâmica	Sites (último acesso em Julho de 2010)
Adeline	<i>Radiance</i>	Céu estático	www.ibp.fhg.de/wt/adeline/
Daysim	<i>Radiance</i>	<i>Daylight coefficient</i> e modelos de céu de Pérez	www.daysim.com
ESP-r	<i>Radiance</i>	<i>Daylight coefficient</i> e modelos de céu de Pérez	www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm
SPOT	<i>Radiance</i>	Céu de Simulação anual da CIE	www.archenergy.com/SPOT

⁴ O *Radiance* é um programa de simulação computacional que utiliza o método *Ray-tracing* para realizar cálculos luminosos.

⁵ O método de *Daylight Coefficients* foi desenvolvido por Tregenza (1983; 1993) para calcular o nível de iluminação natural interior sob qualquer tipo de céu. A ideia consiste em dividir a abóbada celeste em parcelas, para posteriormente calcular a contribuição de cada uma delas ao nível luminoso final em um ponto determinado do ambiente. Segundo REINHART, C. (2006), a principal vantagem deste método é que após ter calculado a contribuição relativa de todas as parcelas para um ponto, é mais fácil calcular a iluminância final nesse ponto sob qualquer condição de céu, já que para calcular a contribuição do céu é suficiente combinar a contribuição de cada parcela (coeficiente) com sua luminância.

2.3.4 Daysim

Dentre os programas de simulação dinâmica da luz natural listados na Tabela 2, destaca-se o *Daysim* por sua facilidade de acesso e manipulação e sua integração com outros programas de modelagem e simulação.

O *Daysim* foi desenvolvido pela *National Research Council Canada (NRCC)* e pelo *Fraunhofer Institute for Solar Energy System* na Alemanha (REINHART, 2006). Sua estrutura é baseada em algoritmos do *Radiance*, que calculam o perfil anual de iluminação natural do ambiente de maneira rápida, com ajuda do método *Daylight Coefficient*. O *Daysim* trabalha com os tipos de céu de Pérez (PEREZ; SEALS; MICHALSKY, 1993) e com arquivos climáticos tipo *TRY (Test Reference Year)*.

A simulação é realizada a partir de um modelo tridimensional do ambiente importado de programas como *Autocad*, *Ecotect*, *Sketchup* e *3dmax*, onde são definidas as propriedades ópticas dos materiais. Os arquivos climáticos são importados para o ambiente antes do início do cálculo luminoso em uma série de pontos de referência previamente determinados.

2.4 Conforto térmico

Conforto térmico pode ser definido como a sensação psicofisiológica que expressa satisfação com as características do ambiente térmico ao redor (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2008). Na sensação de conforto térmico interferem variáveis subjetivas como a atividade desempenhada e o isolamento das roupas e variáveis ambientais como a temperatura do ar, a temperatura radiante média⁶, a velocidade do ar e a umidade relativa.

Esse conceito não deve ser confundido com neutralidade Térmica nem com Temperatura Neutra. Neutralidade Térmica é uma das condições necessárias para que uma pessoa tenha a sensação de conforto térmico e é definida como o estado de satisfação com a temperatura do corpo como um todo, ou seja, o

⁶ “É a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme” (Adaptado de: ISO 7726, 1998)

estado físico no qual a temperatura do corpo se mantém constante pelo fato de que o calor gerado é trocado na mesma proporção com o ambiente ao redor. Mas se a perda de calor do corpo aumentar, a reação será fazer uso dos mecanismos termorreguladores⁷ e tentar diminuí-la; caso a perda continue a pessoa terá sensação de frio. Ao contrário, se a perda de calor diminuir, o corpo tentará aumentá-la, e se continuar diminuindo a pessoa terá sensação de calor.

Já a Temperatura Neutra⁸ refere-se ao estado psicofisiológico no qual não existe preferência por mais frio ou por mais calor. Vários modelos empíricos têm sido desenvolvidos em diferentes cidades, a maioria deles para uso residencial. Os modelos, baseados em observações sobre a temperatura que a população aclimatada prefere, estão relacionados com a Temperatura Média Mensal. (ver Tabela 3).

Tabela 3 - Equações para o cálculo da temperatura neutra.

Autor	Equação
Humphreys (1978)	$T_n = 0,543 \times T_{mm} + 11,9 \text{ } ^\circ\text{C}$
Aluciems (1981)	$T_n = 0,314 \times T_{mm} + 17,6 \text{ } ^\circ\text{C}$
Griffiths (1990)	$T_n = 0,534 \times T_{mm} + 12,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
Xavier (1999)	$T_n = 0,351 \times T_{mm} + 16,051 \text{ } ^\circ\text{C}$
Nicol e Humphreys (2002)	$T_n = 0,540 \times T_{mm} + 13,5 \text{ } ^\circ\text{C}$
De Dear e Brager (2002)	$T_n = 0,310 \times T_{mm} + 17,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

T_n= Temperatura neutra. T_{mm}=Temperatura média mensal

Pereira e Assis (2010), visando encontrar um modelo de Temperatura Neutra adequado para as condições climáticas brasileiras e para a população aclimatada local, compararam os modelos desenvolvidos por Humphreys em 1978, Aluciems em

⁷ “Pode-se considerar o corpo humano, como uma máquina térmica, que dispõe de um mecanismo termorregulador, o qual controla as variações térmicas do organismo, e, por ser o organismo humano homotérmico, isto é, sua temperatura deve permanecer praticamente constante, esse mecanismo termorregulador cria condições para que isso ocorra” (Fonte: LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2008)

⁸ “Temperatura neutra é a temperatura operativa para a qual o corpo humano encontra-se em neutralidade térmica. Temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente negro imaginário no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real no uniforme” (Fonte: ABNT 1998).

1981, De Dear e Brager em 2002 e Nicol e Humphreys também em 2002, com os parâmetros de conforto térmico definidos para várias cidades do Brasil. No caso de Florianópolis, os modelos foram comparados, para o ano inteiro, com os limites da zona de conforto térmico definida por Xavier (1999). Os resultados iniciais indicaram que os três primeiros modelos avaliados se enquadraram nos limites de referência. Posteriormente, a partir de cada modelo de Temperatura Neutra, foi definida uma gama de possíveis “situações” térmicas: desconforto por frio, pouco frio, zona de conforto, pouco calor ou desconforto por calor. Com o uso dos dados referentes aos horários médios mensais de temperatura do ar, essas “situações” foram comparadas com as faixas de conforto definidas para cada cidade. No caso de Florianópolis, os resultados das comparações indicaram que dos modelos de Temperatura Neutra estudados, a situação “zona de conforto” do modelo desenvolvido por Humphreys em 1978 foi a que apresentou maior aproximação com a zona de conforto definida por Xavier (1999). Portanto, Pereira e Assis (2010) concluíram que dos modelos estudados, este último era o mais adequado para a cidade de referência. Contudo, as autoras não consideraram o modelo de Temperatura Neutra de Xavier (1999), o qual foi desenvolvido a partir de observações realizadas em uma escola de segundo grau da cidade de Florianópolis (ver apêndice 8.1).

Como visto, todos os modelos de Temperatura Neutra descritos na Tabela 3, utilizam como referência a Temperatura Média Mensal. Para Florianópolis, Goulart (1993) descreve os valores de Temperatura Média Mensal, calculados através de análises estatísticas que incluíram todos os dados de Temperatura de Bulbo Seco registrados entre 1961 e 1970 (ver apêndice 8.1).

2.5 Radiação solar incidente

Nas localidades com climas predominantemente quentes, uma das principais causas de desconforto térmico é o ganho de calor excessivo produzido pela absorção de energia solar que atinge as superfícies dos ambientes construídos (FROTA; SCHIFFER, 2001). Juntamente com o controle da energia que atinge as superfícies exteriores e a correta escolha de materiais das paredes e do teto, uma das principais estratégias bioclimáticas para atingir o conforto térmico é controlar a energia

solar que incide nas aberturas, minimizando-a ou permitindo seu ingresso ao ambiente interior segundo a conveniência. Corbella e Yannas (2003) apontam que a radiação solar que ingressa pelas aberturas é absorvida, em parte, nas superfícies do chão ou das paredes, convertendo-se em energia térmica que, ao aumentar a temperatura das superfícies que a absorveram, aumentará imediatamente a Temperatura do Ar interior assim como a Temperatura Radiante Média. Para controlar essa energia que entra pelas aberturas as principais estratégias consistem em orientar o edifício, controlar as dimensões e a orientação da janela e usar dispositivos de controle solar que permitam o ingresso do Sol quando for conveniente e o evitem quando não for conveniente.

2.5.1 Conveniência da incidência solar

A penetração solar é um tema que tem sido tratado pelos arquitetos em duas abordagens antagônicas, sobretudo em climas com estações diferentes e bem marcadas. Se por um lado é um recurso conveniente que pode ser usado para atender as deficiências térmicas em um dado ambiente, por outro lado, pode ser considerado um fator inconveniente, que aquece os espaços e, como consequência, aumenta a dependência de energia elétrica devido ao consumo elevado de ar condicionado.

Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1966) apontam que nas latitudes com climas temperados muitas pessoas admitem preferir o ingresso da luz solar, em certos momentos, nos espaços onde desenvolvem suas atividades. Porém, também afirmam que para latitudes mais próximas do Equador, é quase totalmente indesejada a admissão de luz solar direta.

Para controlar o acesso de raios solares nos ambientes internos existem estratégias que envolvem dispositivos externos ou internos à janela. Os internos, apesar de serem mais flexíveis do ponto de vista da operabilidade e mais efetivos para impedir o acesso dos raios solares ao interior, não impedem o efeito estufa, pois os raios solares passam pelo vidro. Nesse sentido a forma mais eficiente de controle da luz solar indesejável consiste no uso de dispositivos exteriores ao edifício, já que impedem que os raios solares atinjam o vidro.

Na prática projetual, a eficiência dos sistemas de controle solar é medida segundo sua capacidade de obstruir os raios solares quando eles não são convenientes, e não fazê-lo quando

convenientes do ponto de vista do conforto térmico e da eficiência energética. Vários métodos têm sido desenvolvidos para auxiliar o arquiteto na escolha e no dimensionamento de dispositivos de controle solar eficientes (ARZTEGUI, 1980; DUTRA 1995; DUBOIS, 2000; KAFTAN, 2001; KAFTAN E MARSH, 2005; PEREIRA E ASSIS, 2010).

Aroztegui (1980) desenvolveu um método para avaliar a eficiência dos pára-sóis externos a partir da provável satisfação ou insatisfação térmica a ser gerada nos usuários de um espaço por conta da penetração solar. O método nasceu da necessidade de estabelecer um guia para ajudar os projetistas a escolher e a dimensionar corretamente os dispositivos de controle solar que propõem para uma abertura em determinada localidade geográfica. Embora este método esteja associado a assuntos térmicos, ele responde ao desejo, ou não desejo, psicofisiológico de ter sol no espaço e não serve para determinar o comportamento térmico das aberturas: ele valora os dispositivos de controle solar segundo sua eficácia em termos de geração de sombra ou de permissão à penetração solar quando conveniente ao longo do ano.

No método, a satisfação ou insatisfação gerada pela penetração solar é medida hora a hora para o dia representativo do mês e é representada através de fatores de ponderação (*FP*). O valor do Fator de Ponderação (*FP*), como descrito na Equação 1, é obtido a partir do afastamento entre a Temperatura Ambiente (*T_{am}*) e a Temperatura Neutra (*T_n*). Se a Temperatura Ambiente (*T_{am}*) for maior que a Temperatura Neutra (*T_n*) a sensação obtida é de calor, mas se a Temperatura Ambiente (*T_{am}*) for menor que a Temperatura Neutra (*T_n*) a sensação é de frio.

$$FP = \left(\frac{T_{am} - T_n}{2} \right)^\alpha \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

α = Coeficiente que varia de acordo com a sensação (calor =1.5; frio =1.0)

No método, a Temperatura Ambiente (*T_{am}*) é calculada como a média aritmética entre a Temperatura do Ar externo (*T_{ar}*), considerada igual a do ar interno, e a Temperatura Radiante Média do interior (*T_{rm}*) (ver Equação 2). Aroztegui (1980) sustenta esta afirmação com base no pressuposto de que a sensação fisiológica depende, em igual proporção, da

Temperatura do Ar (T_{ar}) e a Temperatura Radiante Média (T_{rm}) para condições de ar calmo.

$$T_{am} = \frac{T_{ar} + T_{rm}}{2} \quad (\text{Eq. 2})$$

A temperatura do Ar externo (T_{ar}) do dia representativo do mês pode ser calculada, hora a hora, utilizando o critério do dia mensal típico descrito na ASHRAE (2009). As Temperaturas do Dia Mensal Típico (T_{dt}) são calculadas a partir da Temperatura Média das Máximas mensais (T_{Max}), da Temperatura Média das Mínimas mensais (T_{Min}) e um valor multiplicador (V_m) segundo o horário, como descrito na Equação 3:

$$T_{dt} = T_{Max} - (T_{Max} - T_{Min}) * V_m \quad (\text{Eq. 3})$$

O valor multiplicador (V_m) para cada horário é descrito na Tabela 4:

Tabela 4 - Valor multiplicador hora a hora (função seno).
(Adaptada de: ASHRAE HOF, p.14.11)

Hora	Valor	Hora	Valor	Hora	Valor
1	0,88	9	0,55	17	0,14
2	0,92	10	0,38	18	0,24
3	0,95	11	0,23	19	0,39
4	0,98	12	0,13	20	0,50
5	1,00	13	0,05	21	0,59
6	0,98	14	0,00	22	0,68
7	0,91	15	0,00	23	0,75
8	0,74	16	0,06	24	0,82

Para Florianópolis, os valores horários de Temperatura Média das Máximas (T_{Max}) e de Temperatura Média das Mínimas (T_{min}) estão descritas nas Normas Climatológicas (1992) e também foram calculados por Goulart (1993) a partir de dados registrados entre 1961 e 1970 (ver apêndice 8.3).

Já para o cálculo da Temperatura Radiante Média (T_{rm}), descrito na Equação 4, Aroztegui (1980) especifica que o método funciona em locais onde a cobertura e as superfícies externas não sejam muito sensíveis para evitar que o cálculo desta variável dependa principalmente da orientação de cada fechamento e, desse modo, facilitar seu cálculo. Nesse sentido, ele considera no método espaços envolvidos com cinco faces,

ficando uma como a cobertura externa, e com materiais de inércia térmica média.

“Esta temperatura será o resultado da modificação paulatina da temperatura superficial de cada parede pelo ar, que se considera á temperatura exterior. Sendo os períodos considerados mensais a temperatura mais provável da superfície das paredes será a temperatura média mensal. Esta estará constantemente modificada pela temperatura do ar e, segundo suas propriedades de acumulação térmica, ela oscilará entre os extremos da temperatura média mensal (caso inércia forte) e a mesma temperatura do ar (caso inércia nula)”. (ARozTEGUI, 1980, p. 20)

O autor coloca ainda que, em termos gerais, pode-se considerar que a temperatura das paredes se encontra entre a Temperatura Média Mensal (T_{mm}) e a Temperatura do Ar (T_{ar}), e desconsidera o retardo.

$$T_{rm} = \frac{T_{ar} + T_{mm}}{2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Para o cálculo da Temperatura Neutra (T_n), Aroztegui (1980) cita a expressão dada por M. Humphreys em 1978, descrita na Tabela 3.

Para avaliar a conveniência, ou não, da incidência solar, o método trabalha separadamente a radiação solar direta e a radiação solar difusa:

Radiação solar direta

Nesta parte do método é realizado o cálculo da Radiação Solar Direta Ponderada (n), hora a hora, para o dia representativo do mês. Tal como mostrado na Equação 5, a Radiação Solar Direta Ponderada (n) é o resultado da

multiplicação entre o Fator de Ponderação (*FP*) e a Radiação Solar Direta Horária (*RSD*)⁹ recebida no plano da fachada.

$$n = FP * RSD \quad (\text{Eq. 5})$$

Dado que o cálculo consiste na multiplicação do desejo real de Sol ou de sombra (*FP*) pela disponibilidade de Sol para satisfazer esse desejo (*RSD*), o resultado não indica somente o grau de desejabilidade de Sol ou de sombra. Contudo, o sinal do resultado indica a conveniência da penetração solar quando *n* é positivo (+*n*) ou a conveniência de sombra, quando *n* negativo (-*n*). No método original, o valor final, resultado da aplicação da Equação 5 é adimensional.

Após o cálculo, os valores de Radiação Solar Ponderada (*n*), são colocados no diagrama de trajetórias solares projetado sobre o plano de horizonte, como mostrado na Figura 4:

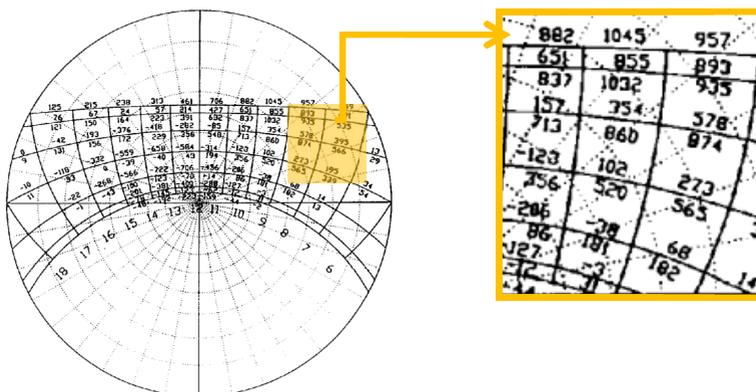


Figura 4 - Valores “*n*” colocados na carta solar de Florianópolis. Fachada Norte. (Adaptada de: Pereira; Nome; Turkienikz, 2001, p.3).

⁹ Para o cálculo da radiação solar direta ponderada, o método assume céu limpo permanente. Aroztegui (1980) explica que, como o método se baseia na satisfação ou insatisfação produzida pela penetração solar, conseqüentemente deverá existir sol sempre: “Realizando a avaliação para a situação do céu limpo, estar-se-á colocando a avaliação sob as situações críticas, tanto para a situação de frio quanto de calor” (AROTEGUI, 1980, p. 13).

Posteriormente, com os valores colocados na carta solar é feita uma somatória dos valores convenientes ($\sum+n$) e uma somatória dos valores inconvenientes ($\sum-n$). Uma somatória final desses dois grupos de valores representa o desempenho da abertura sem elementos de controle solar. Além disso, com a informação geométrica da fachada e sob o diagrama que contém os valores de radiação solar ponderada é realizado um mascaramento, como mostrado na Figura 5.

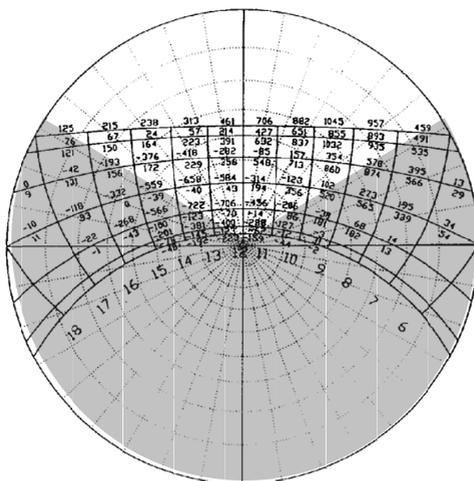


Figura 5 - Mascaramento sobre diagrama solar de Florianópolis (fachada Norte) com Valores n .
(Adaptada de: Pereira; Nome; Turkienikz, 2001, p.3).

Com a informação do mascaramento, é feita outra somatória dos valores convenientes e outra dos valores inconvenientes, que representam as datas e os horários que ficaram desobstruídos (radiação penetrante). O resultado final das radiações solares diretas ponderadas é obtido através da somatória final das radiações convenientes penetrantes e das radiações inconvenientes penetrantes, como descrito na Tabela 5.

Tabela 5 - Somatória de radiações diretas ponderadas

	Na fachada	Penetrantes
Convenientes	$+\sum n$	$+\sum n$
Inconvenientes	$-\sum n$	$-\sum n$
		TOTAL

Radiação difusa

Quanto às radiações difusas, como descrito na Equação 6, os Fatores de Ponderação (*FP*) são multiplicados pela radiação solar difusa horária recebida no plano da fachada (*RSDf*). O valor, produto dessa multiplicação, é o Valor de Radiação Solar Difusa Ponderada (*m*):

$$m = FP * RSDf \quad (\text{Eq. 6})$$

Porém, devido à falta de direcionalidade, o comportamento da proteção é diferente e a valoração da sua eficiência também. O método assume céu permanentemente limpo e de radiação uniforme. Portanto as radiações difusas são computadas globalmente para o ano todo, separando as convenientes das inconvenientes. Primeiramente, é realizada uma somatória diagnóstica dos valores convenientes ($\sum+m$) e uma somatória diagnóstica dos valores inconvenientes ($\sum-m$). Posteriormente, a fim de estimar o desempenho da abertura sem elementos de controle solar em relação à radiação solar difusa, é realizada uma somatória desses dois resultados.

Em seguida é realizado o mascaramento (ver Figura 5) e com o uso do gráfico resultante é calculado o percentual da abobada celeste que permanece desobstruída. Dos valores diagnóstico resultantes das somatórias dos valores convenientes e dos valores inconvenientes previamente realizadas, essa percentagem representa a porção de radiação solar difusa penetrante.

Para se obter o resultado final das radiações difusas, é realizada uma somatória dos valores conveniente e inconveniente das radiações solares difusas penetrantes, tal como descrito na Tabela 6:

Tabela 6 - Somatória de radiações difusas

	Na fachada	Penetrantes
Convenientes	+ m	% céu desobstruído * + m
Inconvenientes	- m	% céu desobstruído * - m
		TOTAL

Ponderação final

No final, de um lado são somados os valores das radiações diretas e difusas penetrantes e de outro são somados os valores das radiações difusas e diretas em fachada (diagnóstico). O valor das radiações penetrantes comparado com o valor das radiações em fachada indica a qualidade dos elementos de controle solar em relação às radiações solares diretas e radiações difusas incidentes.

Limitações do método

Aroztegui (1980) descreve várias limitações que o método apresenta, entre elas:

- Não considera se a abertura está envidraçada ou não.
- A análise foi feita partindo do pressuposto de que o ar do ambiente está em repouso (velocidade do ar menor ou igual que 0,1 m/s).
- A cobertura não pode ser muito sensível às radiações solares (inércia térmica média).
- Considera que as pessoas no ambiente estão realizando atividades sedentárias com roupas adaptadas às condições médias internas.
- Assume que a radiação solar direta que penetra no espaço não incide sobre as pessoas, já que esta situação mudaria drasticamente a sensação de desejabilidade ou não.

Além disso, embora não esteja dentro dos objetivos do método, uma das limitações mais visíveis para seu uso atual é que não avalia os efeitos térmicos que produz certa quantidade de Sol no espaço. Ele apenas considera a sensação de satisfação ou insatisfação que o fato de ter Sol produz nas pessoas, independentemente de ser pouco ou muito. Adicionalmente, embora o objetivo geral do método seja estimar a efetividade dos dispositivos de controle solar conforme permitam o ingresso de raios solares quando convenientes, uma das limitações do método é que os cálculos do Valor de Radiação Solar Direta Ponderada (n) e do Valor de Radiação Solar Difusa Ponderada (m), fornecem como resultado números que não indicam somente o desejo real das pessoas. Esses resultados indicam o desejo associado à disponibilidade da radiação para satisfazer esse desejo. Isso é explicado pelo fato da possibilidade de se obter valores (n) ou (m) altos resultantes

de um fator de ponderação (*FP*) baixo, mas alta disponibilidade solar, ou de se obter valores baixos, resultantes de um fator de ponderação (*FP*) alto, mas baixa disponibilidade solar.

Já Dutra (1994), propôs um método para a obtenção do Fator de Ganho Térmico Solar Desejável em aberturas (*SHGCd*) ao longo do ano, a partir da radiação solar, da Temperatura Externa e dos ganhos térmicos interiores. O valor do Ganho de Calor Total Desejável (\bar{Q}_{td}) para cada dia do ano é calculado a partir da Equação 7:

$$\bar{Q}_{td} = \{[(A_g U_g) + C_v] * (T_{ei} - T_{ao})\} + [A_f U_f * (T_{ei} - T_{eo})] \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

A_g | Área de envidraçamento (m²)
 U_g | Transmissividade térmica da janela (W/m² °C)
 C_v | Perdas de calor por ventilação (m³)
 T_{ei} | Temperatura ambiental interna média desejável (°C)
 T_{ao} | Temperatura externa média (°C)
 A_f | Área da parede externa (m²)
 U_f | Transmissividade térmica da parede externa (W/m² °C)
 T_{eo} | Temperatura sol-ar média (°C)

O valor do Ganho de Calor Solar Desejável (\bar{Q}_{sd}) é calculado a partir da diferença entre o Ganho de Calor Total Desejável Médio (\bar{Q}_{td}) e o Ganho Casual Médio (\bar{Q}_c) devido à iluminação, aos equipamentos e às pessoas:

$$\bar{Q}_{sd} = \bar{Q}_{td} - \bar{Q}_c \quad (\text{Eq. 8})$$

Quando comparado o valor do Ganho de Calor Solar Desejável resultante (\bar{Q}_{sd}) com o calor existente (\bar{Q}_s) existem três casos possíveis:

- Caso A. O calor solar desejável é menor ou igual a zero ($\bar{Q}_{sd} \leq 0$). Essa situação indica necessidade de sombreamento.
- Caso B. O calor solar desejável é maior que zero e menor que o calor total existente ($\bar{Q}_s > \bar{Q}_{sd} > 0$). Essa situação indica necessidade de sol, mas em quantidades controladas.
- Caso C. O calor solar desejável é maior que o calor existente ($\bar{Q}_s < \bar{Q}_{sd}$). Essa situação indica que não é necessário sombreamento.

O Fator de Ganho Térmico Solar Desejável em aberturas (*SHGCd*) é calculado, para cada dia ao longo do ano, como uma

porção da radiação solar incidente na fachada segundo os 3 casos descritos anteriormente. No Caso A, *SHGCd* é igual a zero; no caso B, *SHGCd* é calculado a partir a Equação:

$$SHGCd = \bar{Q}_{sd} / (I_t^* A_g) \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

I_t | Radiação total média diária (W/m²)

Finalmente, no Caso C, *SHGCd* é igual ao Fator Solar do vidro.

O resultado da aplicação deste método representa o desempenho requerido pela abertura, e fornece informações acerca de como deverão ser projetados os dispositivos de controle solar para que funcionem de maneira eficiente sob o ponto de vista do conforto térmico. Porém, através dele não é possível comparar a eficiência de diferentes soluções de proteção solar. Além disso, o método trabalha com as necessidades médias diárias, mas não horárias, portanto a informação útil para projetar dispositivos de sombreamento eficientes é incompleta do ponto de vista geométrico e poderia levar a incorrer em grandes erros.

Dubois (2000) propôs um método para determinar o *G-value*¹⁰ ideal de dispositivos de sombreamento fixos. O objetivo do método é identificar rapidamente as características ideais dos elementos de sombreamento de janelas, evitando longos processos de simulação (tipo ensaio-erro) até atingir uma solução satisfatória. A autora ressalta a importância da utilização dos dispositivos de controle para reduzir a radiação solar incidente e evitar altos consumos energéticos em refrigeração. Porém, destaca que em localidades com clima frio, esses dispositivos podem reduzir consideravelmente o ganho de calor no inverno e, portanto, incrementar o consumo energético em sistemas de calefação.

¹⁰ G-value (ou Fator Solar) é um coeficiente de sombra que indica a Transmitância total de energia solar, ou seja, a quantidade de Radiação Solar absorvida e transmitida por um sistema de fachada (Janela com vidro + dispositivo de sombreamento).

A transmitância total de energia solar, *G-value*, de um sistema de fachada (abertura + dispositivo de controle solar), pode ser calculada a partir de Equação:

$$G_{sys} = \frac{Q_{sun}}{I_g * A_g} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

G_{sys} | *G-value* do sistema

Q_{sun} | Ganho solar total no interior (W)

I_g | Radiação solar no plano da fachada (W/m²)

A_g | Área do envidraçamento (m²)

Já o *G-value* do dispositivo de sombreamento pode ser calculado a partir da Equação:

$$G_{shd} = \frac{G_{sys}}{G_{jan}} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

G_{shd} | *G-value* do dispositivo de sombreamento

G_{jan} | *G-value* da janela

Os *G-value* próximos a 0 indicam baixo ganho solar e os próximos a 1 indicam alto ganho solar. Logo, os *G-value* ideais variam segundo o dia e a hora. Para determinar o *G-value* ideal é realizada uma simulação energética anual e os resultados, sempre que exista radiação solar no plano da fachada (I_g) maior do que zero, são interpretados como se descreve na Tabela 7.

Tabela 7 - Somatória de radiações difusas

Se $Q_{cool} \geq Q_{sun}$	$G_i=0$
Se $Q_{cool} < Q_{sun}$	$G_i=1- (Q_{cool}/ Q_{sun})$
Se $Q_{cool}=0$ ou $Q_{sun}=0$	$G_i=1$

Q_{cool} = Consumo elétrico em refrigeração ou carga térmica a ser atendida por hora.

Q_{sun} = Ganho solar total no interior. | G_i = *Gvalue* ideal

(Adaptada de: Dubois 2000, p.2).

Desse modo é obtido o desempenho ideal requerido pelo dispositivo de controle solar para cada horário de vários dias durante um período de tempo pré-determinado. Porém, dada a impossibilidade de atingir todos os *G-value* ideais com dispositivos de controle solar fixos, a autora propôs uma forma de ponderar os *G-values* (ver Equação 12) de modo a obter valores horários representativos para um período de tempo:

$$G_{ipt} = \frac{1}{\sum Q_{sun} (horario)} * \sum Q_{sun} (horaria) G_i (horaria) \text{ (Eq. 12)}$$

Onde:

G_{ipt} | *G-value* ideal horário para um período de tempo

A principal desvantagem deste método é que considera consumo energético constante em refrigeração ou calefação, ou seja, não admite situações nas quais apesar de não ter carga de ar condicionado, não é considerado conveniente permitir ganhos solares.

Kaftan (2001) desenvolveu o chamado “*Cellular Method*”, um método cujo objetivo é auxiliar o projetista a determinar a forma ideal do dispositivo de sombreamento. Para isso, o dispositivo de sombreamento é fracionado em células. Cada célula é avaliada segundo a importância da sua localização geográfica específica para sombrear ou para permitir o ingresso de raios solares em um período de tempo pré-determinado (ver Figura 6). A avaliação de cada célula é o produto de três variáveis calculada para um instante: Efeito da sombra, Necessidade da sombra e Relevância da sombra.

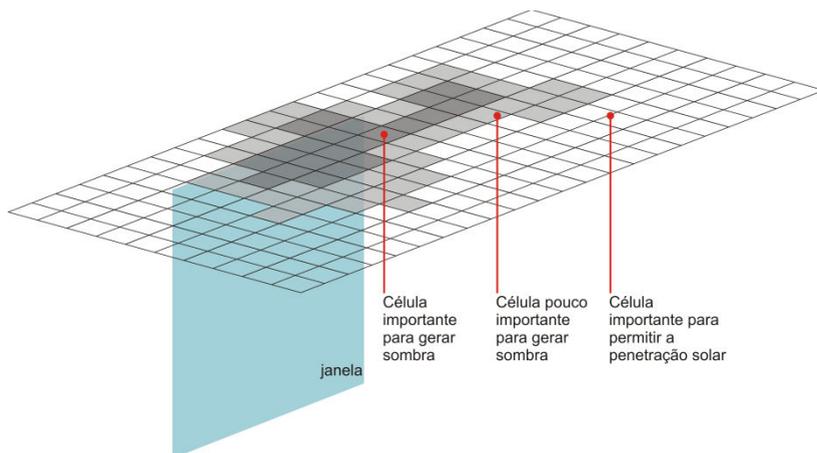


Figura 6 - Avaliação do dispositivo de sombreamento através de “*Cellular Method*”
(Adaptada de: Kaftan; Marsh, 2005, p. 966).

- O Efeito da Sombra (Wh/m^2) refere-se à Radiação Solar obstruída ou admitida, segundo a intenção de manter essa célula, ou não, no desenho final do dispositivo de sombreamento.

- A Necessidade de Sombra (%) refere-se à conveniência de Sol ou de sombra sob o ponto de vista térmico. Em termos gerais, quando a sensação geral é de frio, o Sol é conveniente e quando a sensação geral é de calor a sombra é conveniente. Para se conhecer a sensação geral pode se utilizar um entre vários modelos como PMV, PPD, Temperatura Neutra, entre outros, através de simulação computacional. O valor dessa variável é calculado comparando os efeitos, no consumo energético, por exemplo, quando não existe incidência solar e quando existe. O valor é expresso com sinal positivo (+) quando a sombra é conveniente ou com sinal negativo (-) quando a sombra não é conveniente.

- A Relevância da Sombra (0 ou 1) refere-se à potencial contribuição geométrica da célula ao sombreamento. O valor é 1 quando relevante ou 0 quando não relevante.

A importância geral de cada célula, em um período de tempo, é calculada a partir da somatória dos vários instantes calculados. “*Cellular Method*” foi implementado no programa *Ecotect* (KAFTAN; MARSH, 2005). Essa integração permite que possa ser avaliada quase qualquer geometria no dispositivo de controle solar e que exista uma visualização de resultados da avaliação das células em 3D. As simulações energéticas necessárias são feitas no mesmo programa.

Já Pereira e Assis (2010) utilizam os modelos de Temperatura Neutra como ferramenta de projeto para dimensionar dispositivos de controle solar de salas comerciais em diferentes cidades brasileiras. As autoras determinaram os períodos do ano nos quais a incidência da radiação solar é conveniente, ou não, em função do afastamento entre as Temperaturas Horárias Médias Mensais e a Temperatura Neutra. Porém, devido à necessidade de incluir as contribuições da carga interna (equipamentos, lâmpadas e pessoas) no aumento da Temperatura Interna, Pereira e Assis (2010) consideram a incidência da radiação solar como inconveniente quando é registrada a situação de leve desconforto térmico por calor, ou seja, quando a Temperatura Horária média mensal é 2°C maior do que a Temperatura Neutra. Por outro lado, para compensar as perdas em grandes áreas envidraçadas, a incidência solar é

considerada conveniente quando a Temperatura do Ar é 4°C menor do que a Temperatura Neutra.

Desse modo, utilizando a carta solar são detectados os ângulos de proteção necessários e é proposto o dispositivo de controle solar. Como exemplo, nas Figuras 7 e 8, são mostrados os ângulos de sombreamento propostos para uma sala comercial da cidade de Florianópolis de acordo com os períodos do tempo quando é considerado conveniente o Sol ou a sombra. As áreas ressaltadas em cinza escuro representam os períodos do ano quando as proteções solares são consideradas desnecessárias. As áreas ressaltadas em cinza claro representam os períodos do ano quando a proteção solar é considerada necessária. Já a área marcada com as listras cinzas representa o período do ano em que o dispositivo obstrui os raios solares.

Apesar da simplicidade, esse método apresenta uma grande desvantagem com relação aos anteriores, pois não considera a radiação solar disponível. Adicionalmente, como mostrado na Figura 7, durante a época do ano ressaltada em cor branca, não é especificado se é conveniente o Sol ou a sombra, fato que dificulta a projeção dos ângulos dos dispositivos de sombreamento ideais.

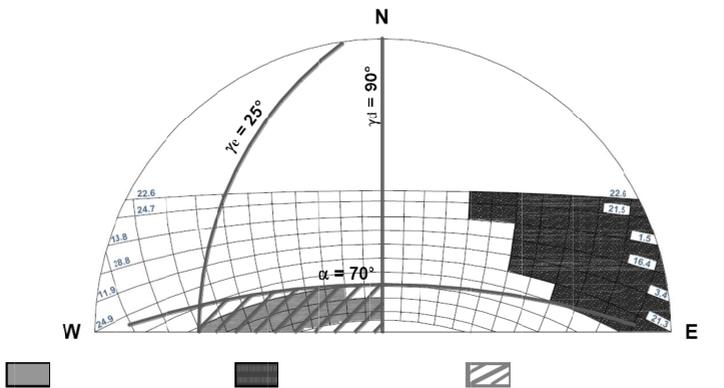


Figura 7 - Carta solar para a fachada Norte de uma sala comercial em Florianópolis, com períodos do ano destacados de acordo com a conveniência de Sol ou de sombra.

(Adaptada de: Pereira; Assis 2010, p.41).

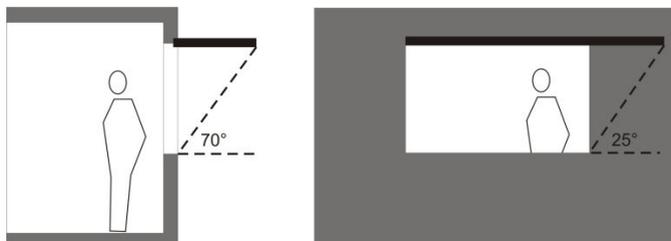


Figura 8 - Esquema do dispositivo de sombreamento proposto. (Adaptada de: Pereira; Assis 2010, p.42).

2.5.2 Apolux

Apolux é um programa de simulação computacional desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (Labcon - UFSC), por Anderson Claro em 1998 (CLARO, 1998).

Tradicionalmente, o programa tem sido utilizado na realização de cálculos luminosos. Porém, a versatilidade dos algoritmos de programação tem permitido a construção de tópicos especiais dentro da sua interface a fim de desenvolver pesquisas especializadas¹¹. A estrutura básica do programa divide-se em dois módulos: o Fractal, onde é preparado o modelo tridimensional, e o Foton, onde são feitos os cálculos.

Um dos tópicos especiais do *Apolux* é o *tópico de desejabilidade*¹², o qual incorpora cálculos relacionados à complementação do método de desejabilidade solar desenvolvido por Aroztegui (1980). O *tópico de desejabilidade* do *Apolux*, trabalha a partir de um modelo tridimensional, com extensão *.dxf*, importado do *AutoCad* no módulo Fractal, onde é especificado o fracionamento. Este se refere à área máxima de superfície em que se dividirão os planos do modelo tridimensional.

¹¹ O fato de ter sido desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental da UFSC permitiu a adaptação dos algoritmos às demandas específicas das pesquisas ali desenvolvidas. Contudo, a versão pública, disponível no site <http://www.labcon.ufsc.br/software_desenv.php> não permite que os usuários utilizem tais algoritmos específicos.

¹² A versão pública do *Apolux* não inclui o *tópico de desejabilidade*.

Após o fracionamento o modelo é importado no módulo Foton onde é definida a resolução de visibilidade¹³. No programa, uma maior resolução da visibilidade implica em uma maior acuidade na construção geométrica das máscaras solares de cada vértice definido no módulo anterior. Portanto, embora as simulações sejam longas, quanto maior a resolução de visibilidade maior será a confiabilidade dos resultados.

Após esta definição, o programa inicia o cálculo da área do plano de trabalho e da área do plano de janela que estão expostas à radiação solar direta ao longo do ano, usando a técnica do mascaramento solar a partir de todos os vértices dos planos de referência. O *Apolux* realiza esse cálculo para um dia representativo do mês¹⁴, considerando céu claro permanente.

2.6 Carga térmica interna

Além das variáveis climáticas e arquitetônicas, a conveniência ou inconveniência da penetração solar é modificada de acordo com a carga térmica interna do ambiente, a qual varia em função da presença humana, dos sistemas de iluminação artificial, dos processos industriais e dos equipamentos e motores.

A carga térmica interna contribui com o aumento da Temperatura Interior do ambiente. Frota e Schiffer (2001) apontam que a previsão da carga térmica que será gerada no interior é de especial importância na definição de estratégias arquitetônicas na fachada. Lamberts, Dutra e Pereira (2004) afirmam que através do cálculo da carga térmica interna é possível saber a quantidade de calor total que deverá ser retirada ou fornecida ao ar do ambiente a fim de mantê-lo com as

¹³ “A resolução de visibilidade (módulo Foton) pode ser definida como a representação do espaço a partir de um ponto pela projeção das superfícies do modelo, em uma esfera dividida em faixas de variação uniforme na altura angular em relação ao plano horizontal, cada faixa, por sua vez subdivididas em segmentos angulares iguais, de forma a subdividir cada faixa em parcelas iguais, sendo que, no conjunto das faixas, as parcelas representam ângulos esféricos aproximadamente iguais.” (CARVALHO, 2009, p.22)

¹⁴ No *Apolux*, os dias representativos são aqueles que fornecem variação aproximadamente igual das declinações para cada mês, conforme estabelecido por SZOKOLAY (1980).

condições térmicas desejáveis. A contribuição da carga térmica interna no aumento da Temperatura Interna ao longo do ano pode ser calculada através do programa *Energypius*.

2.7 Representação gráfica de cálculos luminosos e de incidência solar.

A representação gráfica resultante da aplicação de técnicas e de procedimentos de análise luminosa ou de incidência solar, sejam manuais ou computacionais, é um recurso importante que pode facilitar o entendimento dos fenômenos físicos envolvidos.

Em termos gerais os resultados dessas técnicas e procedimentos podem ser de três tipos:

- Sem integração temporal e espacial. Mostra as condições “reais” de um ponto ou de um conjunto de pontos de um espaço, em um horário e em uma data específica. São os mais comumente utilizados em cálculos das iluminâncias e de penetração solar. Mardaljevic (2004) coloca que o método mais comum para avaliar a penetração solar consiste no uso de uma ou de várias imagens que mostram onde incidem os raios solares segundo o horário e a data.

- Integração espacial. Mostra a distribuição no tempo, mas não no espaço. As análises são feitas para um ponto ou para um conjunto de pontos no espaço em várias datas e horários, mas o tipo de representação gráfica, resultado da aplicação deste tipo de técnica ou procedimento, mostra a distribuição no tempo do acúmulo de cálculos feitos em uma área específica. (ver Figura 9).

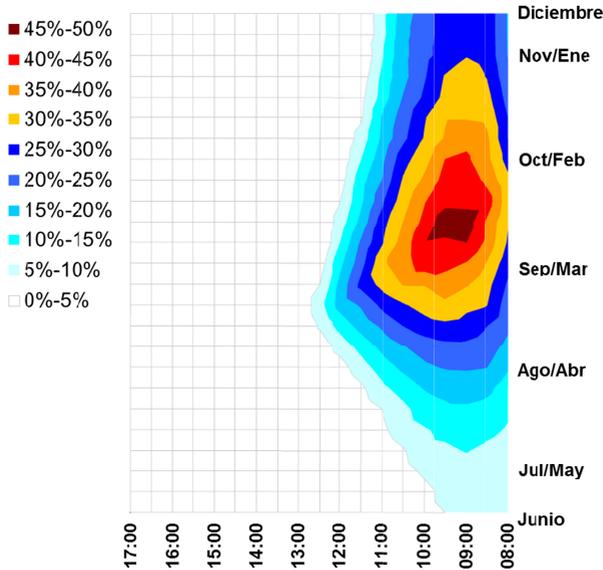


Figura 9 - Percentagem da área do vidro exposta à radiação solar direta. Sistema de elementos verticais de proteção solar. *Fachada Este. Plaza de la Libertad. Medellín.*

(Adaptado de: Salazar, J. et al, 2008, p. 4)

- Integração temporal. Mostra a distribuição no espaço, mas não no tempo. As análises são feitas para um ponto ou para vários pontos no espaço em várias datas e horários, mas o tipo de representação gráfica produto da aplicação deste tipo de técnica ou procedimento mostra a distribuição em planta, seção ou 3D do acúmulo de cálculos feitos ao longo do tempo. (ver Figura 10)

Por conta dos longos tempos de aplicação das técnicas e dos procedimentos manuais, dificilmente as análises são realizadas para vários pontos em várias datas e horários ao longo do ano. Pela mesma razão, a representação gráfica das técnicas e dos procedimentos manuais é limitada.

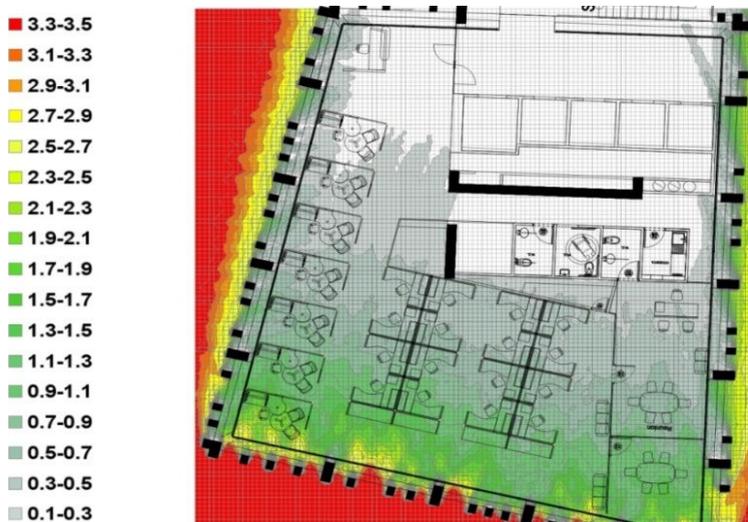


Figura 10 - Média de horas de exposição solar nas horas da manhã. Torre Leste. Plaza de La Libertad Medellín.

(Adaptada de: Salazar, García, González, 2008, p. 10)

Já as técnicas e os procedimentos computacionais oferecem cálculos com maior acuidade e maior velocidade. No entanto, a representação gráfica dos resultados geralmente continua sendo limitada aos três grupos. Os recursos digitais aceleram a produção de gráficos, mas não é comum encontrar técnicas que condensem esses vários gráficos na mesma análise. De modo geral, os resultados dos procedimentos e das técnicas de análise luminosa ou de penetração solar continuam sendo espaciais ou temporais, o que deixa a análise incompleta. Inclusive a maioria dos resultados de simulações computacionais dinâmicos continuam se limitando à integração de tempo ou de espaço.

No esforço de obter resultados gráficos representativos, de fácil entendimento e que integrem tempo e espaço, Mardaljevic (2004) propôs uma técnica que parte do desenvolvimento de duas imagens, uma que integra o tempo (*spatial maps*) e a outra que integra o espaço (*temporal maps*), baseadas no arquivo climático, que segundo ele permitem apreciar como o movimento aparente e a variabilidade em potência e brilho do Sol ao longo do ano afetam a penetração solar em um projeto arquitetônico. A técnica é chamada "*Spatio-Temporal irradiation mapping*" (STIMAP). Embora esta técnica apresente os dois tipos de

representação gráfica juntos, não os integra em um gráfico. A Figura 11 mostra a representação gráfica produto da aplicação desse método.

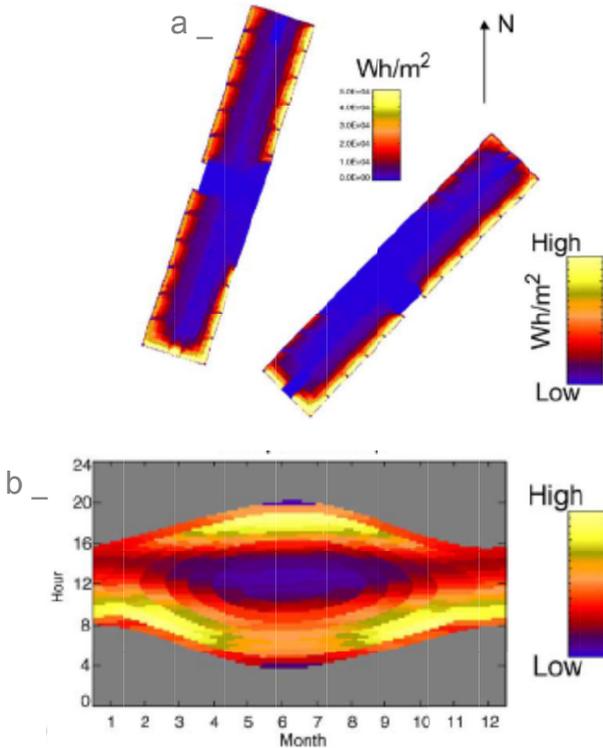


Figura 11 - Análise da irradiação através do método STIMAP. a) Irradiação em planta ("Spatial map"). b) Probabilidade de penetração ("Temporal map") (Adaptada de: Mardaljevic, J., 2004, p. 4)

Andersen et al. (2008), visando desenvolver uma ferramenta digital para realizar cálculos de iluminação natural, de maneira que modificações na fachada possam ser integradas no processo de desenho arquitetônico de maneira fácil e rápida, utiliza a técnica de Mardaljevic (2004) nos cálculos luminosos e adiciona uma variável: o tipo de gráfico resultante é parecido com o chamado "temporal map" de Mardaljevic, mas a escala de cores se refere à quantidade de área que atinge o nível luminoso alvo (ver Figura 12a), que está acima (ver Figura 12b), ou abaixo (ver Figura 12c). Ou seja, a representação gráfica resultante é o produto de cálculos luminosos com resultados expressos em três

faixas luminosas (UDI), cujos valores podem ser alterados pelo usuário da ferramenta digital em função do tipo de tarefa visual.

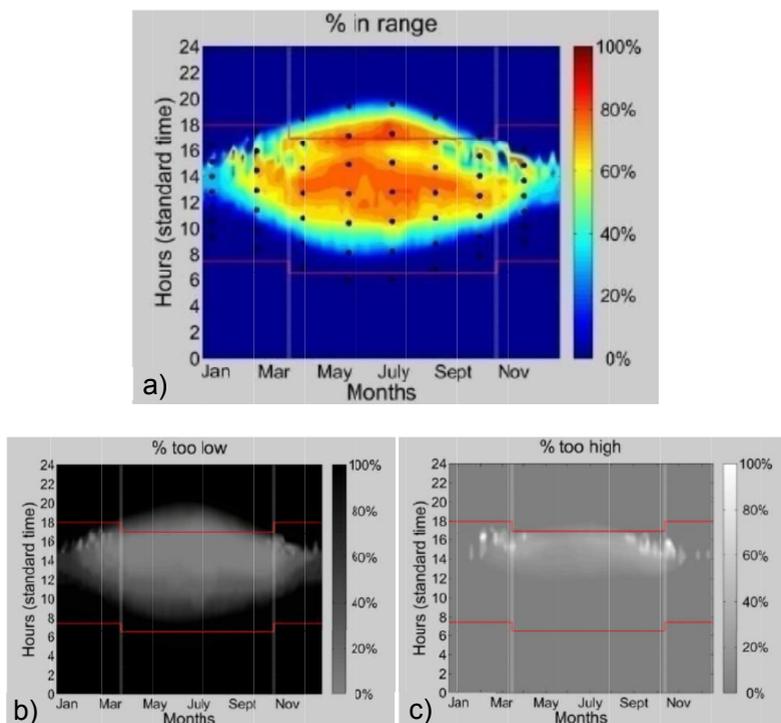


Figura 12 - “Temporal map” sala de escritórios na Bélgica.

a) % de área que atinge o nível luminoso alvo b) % de área abaixo do nível luminoso alvo c) % de área que excede o nível luminoso alvo
(Adaptada de: Cawerts; Bodart; Andersen, 2010, p.2)

Cawerts, Bodart, e Andersen (2009) e Andersen, Kleindienst e Gagne (2010) a fim de condensar os três gráficos anteriores em uma imagem única, implementaram uma escala de cores triangular, e não linear. A Figura 13, mostra na gama de cores amarelas a época do ano em que os níveis luminosos alvos estão sendo atingidos em toda ou quase toda a área do plano de trabalho; na gama dos azuis, a época do ano em que os níveis luminosos estão aquém do desejável em toda ou quase toda a área do plano de trabalho; e por último, na gama dos vermelhos, a época do ano em que os níveis luminosos estão acima do alvo em toda ou quase toda a área do plano de trabalho.

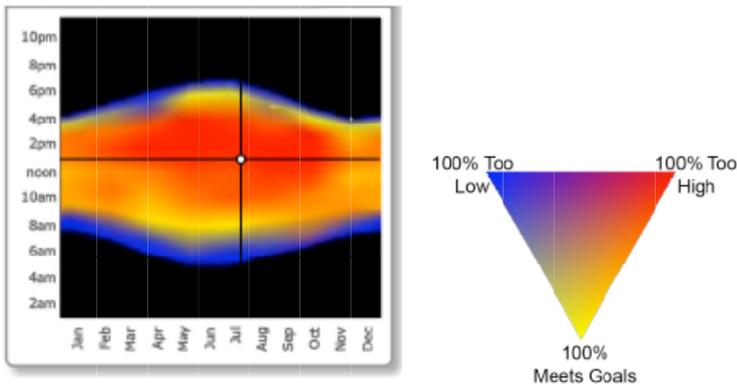


Figura 13 - “Temporal map” Escala triangular.
(Adaptada de: Andersen; Kleindienst; Gagne, 2010, p.37)

2.8 Influência dos dispositivos externos de controle solar na iluminação natural

Os dispositivos externos de controle solar, como *brises-soleil*, varandas, beirais estendidos, marquises, cobogós, entre outros, são utilizados para evitar o ofuscamento e os altos ganhos solares no interior (LAM, 1986; BÜLOW-HÜBE, 2000). Contudo a utilização destes dispositivos afeta a ventilação natural (WONG; ISTIADJI, 2003) e modifica a quantidade admitida e a distribuição da luz no interior em função das características geométricas e da refletância dos materiais (PEREIRA, 1992; BASSO; ARGOUT 1997; BÜLOW-HÜBE, 2000; DUBOIS, 2001; BAKER; STEEMERS, 2002; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004; BOGO, 2007; FIUZA, 2008).

Em iluminação natural, essa modificação pode significar diminuição do nível luminoso e/ou aumento ou diminuição da qualidade da distribuição luminosa interior. Com o objetivo de melhorar o desempenho da iluminação natural, Lam (1986) coloca que se pode tirar partido dos dispositivos de controle solar para redirecionar os raios luminosos ao forro dos ambientes internos. Bogo (2007) enfatiza a necessidade de conhecer o comportamento da luz natural no interior dos ambientes, já que, diferentes dispositivos de controle solar com similar eficiência sob o ponto de vista térmico, podem apresentar características diferenciadas na distribuição luminosa interior. Além disso, Fiuza (2008) aponta que conhecer o fenômeno de distribuição de luz

difusa (reflexões nos elementos de controle solar exterior), ajuda o arquiteto projetista a construir ambientes confortáveis e eficientes do ponto de vista luminoso e térmico.

Nesse sentido, a fim de encontrar a solução de fachada ideal, faz-se necessária a busca do equilíbrio entre as variáveis que interferem na sua concepção, através do aperfeiçoamento geométrico e a escolha adequada dos materiais constitutivos. Yener (1999) afirma que os dispositivos de controle solar ideais são aqueles que maximizam o nível luminoso interior, mantêm o índice de ofuscamento no nível aceitável e evitam o ingresso de raios solares na época de verão. Macêdo (2002) coloca que é no correto dimensionamento dos elementos de controle solar que se encontra a chave para proporcionar níveis luminosos adequados, distribuições de luz mais uniformes e ganhos térmicos reduzidos. Já David et al. (2011) apontam que o desenho ideal de elementos de controle solar deve ser um compromisso entre proteção solar efetiva e níveis luminosos adequados. No entanto, colocam os autores, a combinação perfeita que reduza o consumo energético não é fácil de atingir.

Vários pesquisadores (SOEBARTO, DEGELMAN; 1994; YENNER, 1999; LAAR, 2001; DUBOIS, 2001; KREMER, 2002; SOUZA, 2003; WONG; ISTIADJI, 2003, 2004; FADZIL E SAI, 2004; UNVER ET AL, 2004; AJMAT; GHISI, THINKER; 2005; TZEMPEKILOS, ATHIENITIS, 2005; MARDALJEVIC, 2005; DIDONÉ; BITTENCOURT, 2006; BOGO, 2007; FIUZA, 2008; MING-CHING ET AL, 2008), através de diversos métodos, têm realizado pesquisas com o objetivo de estudar a influência da orientação da edificação, das propriedades da janela, dos elementos de sombreamento ou da mistura de dois ou três dos anteriores, no conforto visual, no conforto térmico e no consumo energético. Como consequência disso, diferentes conclusões nas diferentes localidades geográficas têm sido verificadas. Essas pesquisas têm sido desenvolvidas sob diferentes pontos de vista, podendo ser classificadas em 3 grupos, de acordo com a ênfase:

a) Um primeiro grupo de pesquisadores, focados em uma parte do conforto visual e do conforto térmico, tem estudado os efeitos da disposição de elementos de sombreamento, e as propriedades ópticas dos materiais que os constituem, na admissão/distribuição da luz natural e na penetração solar nos edifícios residenciais, institucionais e comerciais.

Yener (1999) desenvolveu um modelo matemático a fim de determinar o dispositivo de sombreamento ideal sob o ponto de vista luminoso e térmico. O modelo incorporou a formulação de equações para calcular, em um ponto, a influência da geometria e das propriedades dos materiais de um ambiente hipotético no conforto visual e no conforto térmico.

Laar (2001) estudou o impacto nos requerimentos térmicos e visuais de vários tipos de envidraçado e diferentes dispositivos de sombreamento (fixos e móveis) para salas de escritórios localizadas no Rio de Janeiro. Dentro dos requerimentos térmicos, o autor limitou-se a considerar adequados os dispositivos de sombreamento que impediram a penetração solar ao longo do ano e reduziram os ganhos por radiação solar difusa a níveis mínimos. Porém, dentro dos requerimentos visuais considerou a admissão e distribuição da luz natural, a possibilidade de ofuscamento e o contato visual com o exterior. Além disso, fez um estudo dos custos de instalação, dos custos de manutenção, e o padrão do comportamento do usuário no caso dos dispositivos móveis. Em suas conclusões, Laar (2001) destaca a dificuldade em atingir os objetivos mínimos com soluções convencionais e chama a atenção para a necessidade de projetar sistemas de fachadas eficientes a partir da definição de requerimentos prioritários e da divisão das funções nos diferentes elementos da fachada.

Dubois (2001) estudou o impacto de seis dispositivos de sombreamento na qualidade da iluminação natural de uma sala prototípica de escritórios localizada na Escandinávia. O estudo foi feito através de simulações computacionais no programa *Radiance*, realizadas para 3 datas no ano (21 de Junho, 21 de Setembro e 21 de Dezembro), em três horários (9horas, 12horas e 15horas), considerando 2 tipos de céu (perfeitamente encoberto e claro). A qualidade da iluminação natural foi avaliada de acordo com três parâmetros: o nível luminoso, a uniformidade no plano de trabalho e a distribuição de luminâncias no campo visual. Os resultados mostraram que, dos dispositivos avaliados, as venezianas brancas (com 45° de inclinação) apresentaram o melhor desempenho ao longo do ano nos três parâmetros avaliados.

Kremer (2002) comparou o desempenho de alguns dispositivos de controle solar no nível e na distribuição luminosa em salas de aula da cidade de Florianópolis através de

simulações computacionais estáticas realizadas no programa *Lightscape* v.3.2. As simulações foram realizadas para duas datas no ano (21 de Junho e 22 de dezembro) em dois horários (10h00min e 14h00min) nas orientações Norte e Leste, assumindo condições permanentes de céu claro. Os resultados mostraram altíssimas variações na distribuição luminosa e na percentagem de área do plano de trabalho com níveis luminosos suficientes, insuficientes e excessivos de modelos com diferentes soluções de controle solar.

Wong e Istiadji (2003, 2004), usaram o programa *Lightscape* para comparar os efeitos de sete sistemas de controle solar na iluminação natural em um edifício residencial em Singapura. As simulações também não consideraram a variabilidade das condições do céu ao longo do ano: foram estáticas e os valores de iluminância horizontal exterior e de luminância do céu usados foram teóricos, escolhidos a partir de simples observações. As análises dos resultados incluíram três tópicos: comparação das médias dos níveis de iluminação interior em um plano; comparação das áreas do plano de trabalho que apresentaram suficiência luminosa; comparação dos índices de ofuscamento assumindo um observador localizado no centro da sala com altura dos olhos a 1m. Apesar da quantidade de tópicos considerados, as conclusões finais não destacaram um sistema de controle solar em relação aos outros. Apenas se limitaram a descrever as vantagens de um ou de outro sistema segundo o tópico analisado. Além disso, não existe referência da eficiência, sob o ponto de vista térmico, dos sistemas de controle solar utilizados.

Fadzil e Sai (2004) avaliaram o desempenho luminoso e térmico de um andar de um prédio comercial de 68 andares localizado em Penang, Malásia (lat. 5°28' N) através de simulações computacionais. Os autores concluíram que, embora o nível luminoso nos pontos mais afastados da janela caiu com a incorporação de um dispositivo de sombreamento, a queda não é tão significativa se comparada com os benefícios visuais e térmicos obtidos.

Unver et al. (2004), através de simulações computacionais, avaliaram o impacto na iluminação natural de várias alternativas de fachadas sob diferentes orientações de um prédio localizado em Istambul, Turquia (lat. 41°02' N). As avaliações incluíram as obstruções próprias da vizinhança. As conclusões apontaram

grande interferência da transmitância luminosa do vidro, das obstruções exteriores, da orientação e das condições climáticas, na distribuição luminosa. Também apontaram pouca interferência do tipo de vidro e da espessura da parede que contém a janela na distribuição.

Didoné e Bittencourt (2006) avaliaram os impactos de diferentes dispositivos de controle solar nos níveis de iluminação natural em salas de aula em Maceió, a partir de cálculos do *Daylight factor* (DF), em três pontos do espaço a 0,75 m de altura, realizados através de simulações no programa *Lumen Micro v.2000*. A pesquisa foi realizada através de comparações dos resultados das simulações sob o modelo de sala de aula em diferentes orientações e diferentes dispositivos de controle solar. As simulações foram efetuadas para diferentes dias do ano, assumindo condição de céu parcialmente nublado. O critério de dimensionamento dos dispositivos de controle solar, determinados com o uso das cartas solares e a elaboração de máscaras de sombra tal como descrito em Bittencourt (2004), foi evitar exposição à radiação solar direta todos os dias do ano desde as 8h até as 17h. Os autores concluíram que a disposição de elementos de controle solar, além de ajudar a atingir os objetivos térmicos, pode alterar significativamente a admissão e a distribuição da luz natural, e ajudar a controlar o possível ofuscamento dos usuários em determinadas situações. Essa conclusão foi comprovada por Bogo (2007) e Fiuza (2008). Bogo (2007) propôs um método para avaliar a admissão da luz natural através de aberturas com diferentes tipos de elementos de controle solar. O método consistiu na utilização de um hemisfério oco com base vertical e uma abertura como fonte de luz no ambiente virtual do *Apolux*. Com essa ferramenta foi possível avaliar a iluminância final recebida no plano do vidro e a distribuição da luz natural do centro até os pontos do interior do hemisfério. Assim, foram realizadas simulações estáticas, de diferentes soluções de controle solar mas com mesmo ângulo de obstrução, variando apenas as propriedades ópticas dos materiais em diferentes datas e horários. Os resultados indicaram forte variação na admissão e na distribuição segundo as modificações propostas pelo autor.

Fiuza (2008) também testou várias soluções de proteções solares, com mesmo ângulo de obstrução, mas diferentes propriedades ópticas dos materiais. O teste foi realizado através

de uma metodologia na qual era dividido o fluxo total de iluminação recebido em parcela inicial e parcela refletida a fim de identificar a influência dos elementos de controle solar no redirecionamento do fluxo luminoso. Embora a pesquisa de Fiuza (2008) tenha se baseado em cálculos estáticos, realizados através da simulação computacional, os resultados apontam que existe grande interferência da refletância dos materiais e o fato de se ter insolação nos protetores, ou não, no nível e na distribuição luminosa: foram registradas diferenças de até 40%, em relação ao fluxo total, entre modelos com elementos de controle solar altamente refletivos e elementos de controle solar com refletância nula.

b) Um segundo grupo de pesquisadores, além de estudar a admissão e a distribuição, desenvolveu estudos com o objetivo de estimar o consumo energético: Souza (2003) propôs uma metodologia para estimar o potencial de aproveitamento da luz natural ao se utilizar diferentes sistemas automáticos de controle da iluminação artificial. A fim de testá-la, o autor calculou o percentual de aproveitamento da luz natural (PALN) de diferentes ambientes hipotéticos com sistemas de controle liga/desliga, três passos e dimerizável. Para isto, após realizar simulações luminosas, dividiu o plano de trabalho em zonas segundo a distribuição luminosa e calculou para cada zona o PALN, assumindo a probabilidade de ocorrência de três tipos de céu (claro, encoberto, semi-encoberto). Finalmente, determinou o PALN ponderado para cada ambiente. Os resultados mostraram que, na média geral, o PALN dos ambientes com sistemas de controle dimmer é 15 pontos percentuais maior do que o PALN de ambientes com sistema liga/desliga e que, de modo geral, utilizando sistemas de controle adequados, podem ser atingidos PALN de até 87% em determinados tipos de ambientes. Porém, a metodologia utilizada pelo autor não considerou um modelo comportamental dos usuários no qual as aberturas podem ser bloqueadas com cortinas ou outros elementos para evitar o ingresso de raios solares.

Ajmat e Mardaljevic (2005), visando facilitar os estudos paramétricos, precisos e confiáveis, dos desempenhos luminoso e térmico e de consumo energético de diferentes soluções de fachada, propuseram um método para calcular a iluminação natural, a incidência da radiação solar e o tempo de uso de

iluminação artificial através de simulações computacionais dinâmicas. A fim de testar o método, realizaram cálculos de consumo energético e de percentagem de tempo anual que o nível luminoso permanece na faixa útil (entre 100 lux e 2000 lux). Os cálculos foram realizados para uma sala comercial hipotética, com diferentes soluções de controle solar, localizada em 4 cidades com climas diferentes: Guangzhou (China), Buenos Aires (Argentina), La Habana (Cuba), Sapporo (Japão). Os resultados mostraram grandes diferenças entre si.

Ming-Chin et al. (2008) se concentraram na viabilidade do uso de elementos de controle solar com o intuito de diminuir o consumo energético pelo uso de lâmpadas em uma sala de aula em Taiwan (lat. 25° 3' N, lon. 121° 3' W), com janela orientada ao Sudoeste. O objetivo traçado consistiu em encontrar uma configuração de elementos de controle solar na sala de aula, que permitisse manter o nível luminoso acima de 500 lux e a uniformidade da sala em um mínimo de 0.5, durante o maior tempo possível, minimizando o consumo energético devido ao uso de lâmpadas. Várias simulações estáticas de iluminação natural com diferentes configurações de elementos de proteção solar foram realizadas para uma data específica. Apesar de não existir nenhum critério do ponto de vista da penetração solar e de que os resultados mostraram uma distribuição ineficiente e dificuldade em atingir o nível luminoso mínimo no fundo da sala de aula, na área distante da janela, foi escolhida a configuração de elementos de controle solar que mais se aproximava dos objetivos e foi feita a distribuição de lâmpadas e circuitos elétricos em fileiras paralelas à janela. Em um segundo estágio, os autores simularam o comportamento luminoso da sala com a configuração de elementos de controle solar escolhida ao longo do dia sem iluminação artificial e ligando a fileira de luminárias mais distante da janela. Conclui-se que a iluminação artificial, como reforço da luz natural, ajudava a atingir os objetivos que se traçaram e que a boa distribuição de luminárias e a adequada escolha da configuração de elementos de controle solar podem fazer com que exista uma diminuição, no consumo, superior a 70%.

c) No terceiro grupo, focado exclusivamente no consumo energético, Soebarto e Degelman (1994), analisaram a efetividade, de vários tipos de vidros, sombreados por diferentes

sistemas de obstrução solar, em termos da redução do custo financeiro dos elementos construtivos e da energia utilizada em refrigeração e iluminação artificial de um prédio de escritórios, situado em uma localidade com clima quente e úmido. Embora, não tenha sido considerada a distribuição luminosa no interior das salas, os resultados apontaram que, para este tipo de clima, é mais eficiente a utilização de um vidro claro sombreado por elementos de controle solar externos, dimensionados para evitar a incidência solar direta o maior tempo possível, do que a utilização de envidraçados mais especializados, os quais, segundo os autores, resultam mais apropriados para localidades com clima frios, onde manter o calor no interior é importante.

Já Ghisi e Tinker (2005) apresentam uma metodologia para estimar a redução do consumo energético devida à diminuição na utilização de sistemas de iluminação artificial. A metodologia está baseada no conceito de área ideal de janela, ou seja, aquela área da janela na qual há um ótimo equilíbrio entre o consumo energético dos sistemas de aquecimento e resfriamento e o consumo energético do sistema de iluminação artificial. Contudo, não são mencionadas as consequências da interação das propriedades inerentes à janela com o espaço interior no conforto visual.

Tzempelikos e Athienitis (2005) avaliaram o impacto de várias alternativas de fachada (variando o PAF, o dispositivo de sombreamento móvel e o tipo de controle do dispositivo de sombreamento) de uma sala de escritórios, no desempenho térmico e luminoso e no consumo energético de sistemas de refrigeração e de iluminação artificial. As avaliações foram realizadas através de simulações computacionais considerando os dados climáticos referentes à cidade de Montreal. Os autores comentam que os resultados mostraram reduções significativas no consumo energético quando utilizados sistemas de controle dos dispositivos de sombreamento e da iluminação artificial. Também colocam que análises de desempenho desse tipo devem ser feitas nas fases iniciais do projeto, quando as decisões arquitetônicas têm um maior impacto no desempenho energético.

Como visto nos 3 grupos anteriores, existem várias pesquisas que evidenciam a influência das propriedades inerentes à janela, à orientação e aos elementos de controle

solar, na admissão e distribuição luminosa, no conforto térmico e, conseqüentemente no consumo energético. Porém, existem poucas ferramentas e metodologias de avaliação que possam ser usadas desde primeiros estágios do processo projetual de forma a avaliar o potencial impacto de várias opções de composição da fachada. Entre elas, o *Ecotect*, programa que integra uma interface de desenho em 3D com um pacote de ferramentas de análise luminosa, térmica e acústica (ROBERTS; MARSH, 2001; MARSH, 2003). Segundo Roberts e Marsh (2003) uma das principais vantagens desse programa é a capacidade de permitir a fácil visualização da interação das decisões projetuais com a análise de desempenho ambiental durante todo o processo de elaboração do projeto, inclusive nas fases iniciais, quando se tem pouca, ou nenhuma, informação detalhada. Além disso, Marsh (2003) coloca que o *Ecotect* é compatível com outros programas, como *Radiance* e *Energy Plus*, permitindo a exportação de dados para análises ambientais mais detalhados.

Arango e Ruano (2007) apresentam uma metodologia para auxiliar o arquiteto no desenho de aberturas, na qual as soluções de fachada propostas para a cidade de Medellín (lat. 6° 13' N, lon. 75° 36' W), são valoradas a partir de um duplo ponto de vista: por um lado a média das percentagens de área do plano de trabalho exposta à radiação solar direta em várias datas e vários horários, e por outro, a média das áreas de abóbada celeste “visualizadas” dos pontos de referência marcados no plano de trabalho. O resultado numérico da análise dupla de várias soluções de fachada é colocado em um plano cartesiano (eixo “y” percentagem de abóbada celeste - eixo “x” percentagem da área do plano de trabalho exposto à radiação solar direta). Arango e Ruano (2007) definiram empiricamente regiões do plano cartesiano segundo o desempenho da solução de fachada. A região “Bueno” delimita a porção do plano onde se localizam as soluções de fachada ideais. “Acceptable” indica a região do plano onde se localizam as soluções de fachada cujo desempenho é tolerável e “Difícil” refere-se à região onde se localizam as soluções de fachada com desempenho deficiente.

A Figura 14 apresenta o resultado da aplicação do método em um ambiente, com 3 orientações diferentes, localizado na cidade de Medellín.

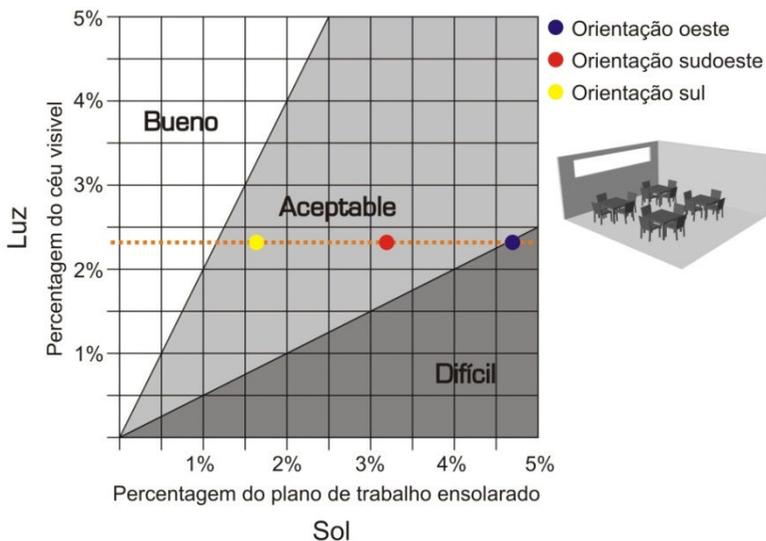


Figura 14 - Impacto da orientação da fachada na iluminação natural e na incidência solar
 (Adaptado de: Arango, L; Ruano, A; 2007, p.30).

Já Salazar (2008; 2009; 2010), no marco da pesquisa do componente luminoso no *Projeto de subvenção para o selo de sustentabilidade e eficiência energética Parquesol* a cargo do GOP (escritório de projetos. Madrid, Espanha), desenvolveu um método para estimar o equilíbrio entre o aproveitamento da luz natural nas edificações e o ganho solar. No método desenvolvido o aproveitamento da luz natural é estimado usando-se o método dos fatores de configuração¹⁵. O ganho solar é calculado através da média de horas-dia de exposição solar. Todos os cálculos de iluminação e de insolação são realizados sobre uma malha de pontos localizada na altura do plano de trabalho.

Salazar (2008) estabeleceu seis grupos nos quais se encontraria cada ponto da malha de cálculo. A definição de cada

¹⁵ Método proposto por Cabeza (2001) da Escola Técnica Superior de Sevilla, com o qual é possível calcular o intercâmbio energético entre uma fonte e um ponto no espaço. Neste caso foi realizada uma adaptação para calcular a visibilidade da abóbada celeste.

grupo é o resultado da combinação de três faixas ou situações luminosas possíveis (Insuficiente luz, Suficiente luz, Excessiva luz) e duas faixas ou situações em relação ao tempo de exposição solar (tolerável, excessiva).

O método desenvolvido visou estabelecer a proporção do plano de cálculo dentro das faixas desejadas de iluminação natural e de exposição solar e, a partir desses resultados, valorar uma solução de fachada. Um dos produtos da pesquisa foi uma ferramenta digital chamada *Soluzna*, cuja aplicação fornece o tipo de resultados mostrados nas Figuras 15 e 16.

Na Figura 15 é mostrada a distribuição dos pontos da malha de cálculo no diagrama de grupos (eixo “y” Sol – eixo “x” luz).

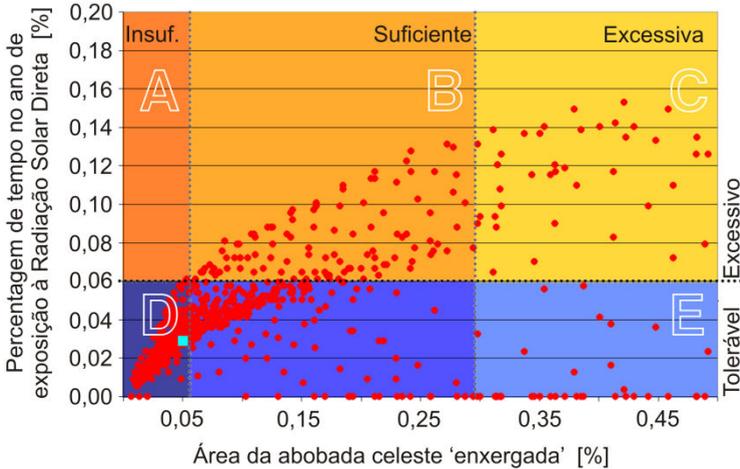


Figura 15 - Resultado 1 da aplicação da ferramenta *Soluzna* em uma sala localizada em Madri (Adaptado de: Salazar, J; 2009)

A Figura 16a mostra um esquema baseado nos resultados mostrados na Figura 15. O esquema mostra a porcentagem de pontos da malha de cálculo que permanece em cada grupo e a valoração (1, 2 ou 3 estrelas) de acordo com a quantidade de pontos da malha que se encontra entre a faixa ótima de luz e a faixa tolerável de sol. Já a Figura 16b mostra os pontos do plano de trabalho ressaltados com uma cor segundo o grupo onde se localizaram.

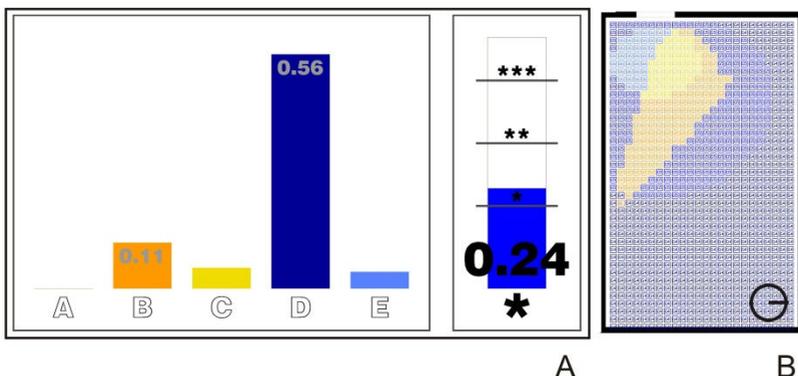


Figura 16 - Resultado 2 da aplicação da ferramenta *Soluzna* em uma sala localizada em Madri (Adaptado de: Salazar, J; 2009)

Em outra tentativa, Andersen et al. (2008) explicam a importância da consideração simultânea do conforto térmico e do conforto visual no desenho das soluções de fachadas desde o início do projeto arquitetônico. A fim de suprir a necessidade de integrar todas essas considerações e facilitar o entendimento por parte do arquiteto, Andersen et al. (2008) propuseram um programa chamado *Lightsolve*. Baseado nas necessidades específicas de cada projeto, o programa apresenta aos usuários uma interface interativa na qual é possível experimentar soluções de projeto e visualizar seu impacto no conforto visual e no conforto térmico.

Através do uso de técnicas que agilizam os cálculos luminosos e permitem uma leitura rápida dos resultados, do ponto de vista qualitativo e quantitativo, este projeto pretende implementar uma ligação imediata entre o desempenho anual (*temporal maps*) e os efeitos visuais no interior (*rendering*) segundo as condições climáticas específicas do instante avaliado. Na Figura 17 é apresentada a interface de análise do programa *Lightsolve*.

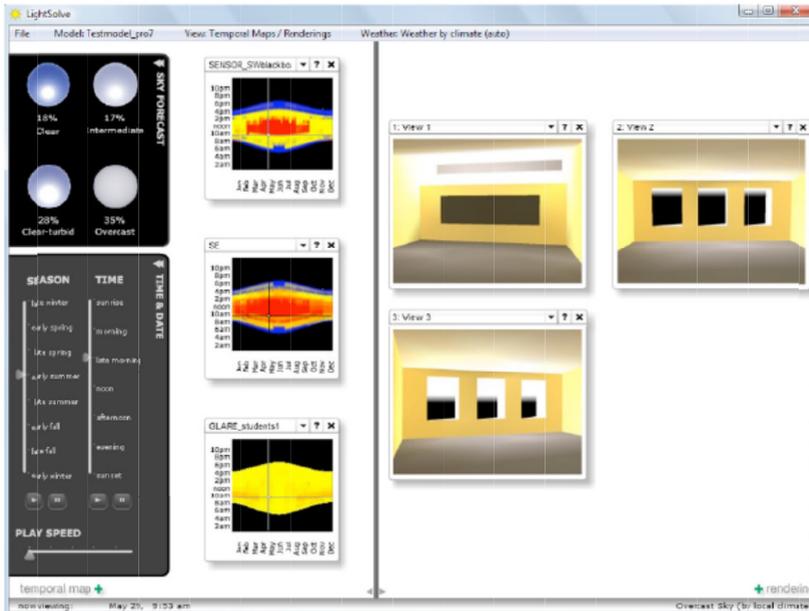


Figura 17 - Interface de análise de projetos de Lightsolve.
(Fonte da Figura: Andersen, M. et al 2010, p. 11)

Já Ochoa e Capeluto (2009), visando auxiliar os arquitetos no processo de desenho de fachadas inteligentes¹⁶, desenvolveram uma ferramenta digital chamada *NewFacades*. A ferramenta está baseada em informações de eficiência energética e conforto visual contidas nas regulamentações energéticas do Israel. Segundo os autores, diferentemente de outros programas, *NewFacades* não necessita de dados de entrada detalhados para começar a gerar resultados, já que utiliza como insumo os primeiros croquis do desenho arquitetônico. Na medida em que o processo projetual avança, o programa gera algumas sugestões de fachadas, as quais o usuário, de forma iterativa, aperfeiçoa segundo os próprios interesses e as definições detalhadas dos materiais. Ochoa e

¹⁶ Para Ochoa e Capeluto (2009), as fachadas inteligentes são aquelas que, a fim de evitar altos consumos energéticos, respondem dinamicamente às condições climáticas exteriores segundo as necessidades interiores.

Capeluto (2009) explicam que o resultado do uso da ferramenta contém uma lista com as opções de fachadas acompanhadas de gráficos que mostram o desempenho energético e o desempenho luminoso de cada opção. Além disso, a fim de realizar uma análise mais detalhada, são gerados arquivos compatíveis com o programa *Energy Plus* para cada opção de fachada inteligente.

Com o uso da ferramenta, os autores verificaram consumos energéticos de 20% a 60% menores que os obtidos com uma solução de fachada com dispositivos de sombreamento simples.

Por fim, David et al. (2011) visando avaliar a eficiência de dispositivos de sombreamento, de forma a considerar simultaneamente os aspectos térmicos e visuais, descrevem a metodologia utilizada na comparação do desempenho de diversas soluções de fachada. A metodologia incluiu o cálculo da eficiência dos elementos de controle solar em termos de sombreamento efetivo, para o qual, os autores utilizaram um coeficiente solar de sombreamento (*Solar Shading Coefficient*)¹⁷. Também realizaram cálculos luminosos com o uso da métrica UDI, porém com as faixas modificadas: insuficiente (<300 lux), útil (entre 300 e 8000 lux) e excessiva (>8000 lux). Além disso, a estimativa da probabilidade de ofuscamento foi realizada como sendo a percentagem da área do plano de trabalho que fica na faixa UDI-excessiva. Como resultado da aplicação desta metodologia, obtiveram diagramas cartesianos que mostram os desempenhos anuais de diversas opções de fachada sob o ponto de vista térmico e luminoso. A Figura 18, mostra o desempenho de 4 dispositivos de sombreamento com 5 tamanhos diferentes (eixo “y” percentagem do tempo no ano durante o qual o nível luminoso permanece entre 300 e 8000 lux - eixo “x” Coeficiente de Sombra). Na Figura 18, Dispositivo 1 refere-se a um elemento de sombreamento horizontal localizado na parte superior da abertura e com comprimento igual à largura da abertura. Dispositivo 2 refere-se a um elemento de proteção solar

¹⁷ Segundo os autores “Solar Shadig Coeficient” é um índice da eficiência dos dispositivos de sombreamento e é definido como a razão entre a área do vidro da janela ensolarada quando utilizados dispositivos de sombreamento e a área do vidro da janela ensolarada quando não utilizado nenhum dispositivo de sombreamento.

horizontal localizado na parte superior da abertura e com comprimento infinito. Já, o Dispositivo 3 é similar ao Dispositivo 1 mas com elementos verticais, de formato retangular, dispostos nos dois extremos da abertura. Finalmente, o Dispositivo 4 também é semelhante ao Dispositivo 1, mas com elementos verticais, de formato triangular, dispostos nos dois extremos da abertura.

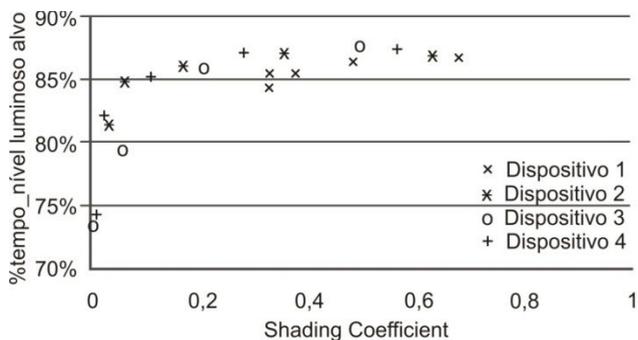


Figura 18 - Desempenho de dispositivos de sombreamento.
(Adaptada de: David. et al 2011, p. 25)

Na Figura 19 são apresentadas as considerações finais do capítulo da revisão da literatura.

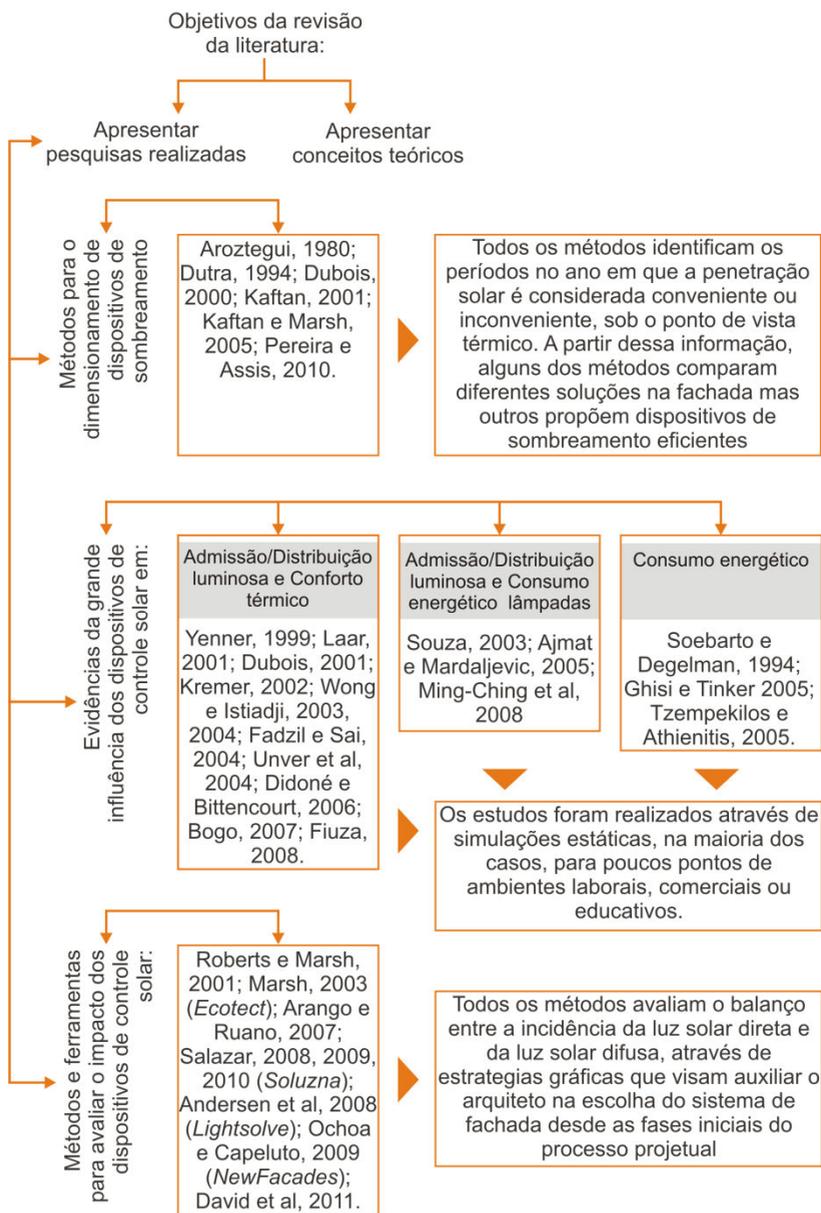


Figura 19 - Considerações finais da revisão da literatura

3. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os métodos e as técnicas usados no desenvolvimento da pesquisa. O capítulo está dividido em sete partes onde é descrita, passo a passo, a forma como foi realizado o trabalho, a fim de atingir os objetivos propostos.

3.1 Síntese metodológica

A fim de se conseguir aplicar um procedimento metodológico para a avaliação do impacto de aberturas e dispositivos de controle solar simultaneamente nas variáveis admissão/distribuição luminosa e conveniência da incidência solar, foi utilizado um método baseado na modificação de metodologias existentes e na sua aplicação.

Inicialmente foram escolhidos os métodos para a estimativa das variáveis e, com o intuito de complementá-los, foram propostas as modificações pertinentes. Adicionalmente, com o objetivo de visualizar o desempenho combinado das variáveis foi proposto um gráfico integrador.

Ao fim, com o objetivo de testar o método proposto foram realizadas simulações computacionais a partir da definição de um ambiente hipotético, no qual foram efetuadas modificações na orientação, na janela e no dispositivo de controle solar. Os resultados foram processados e analisados em duas etapas, a partir de estratégias gráficas e analíticas. Inicialmente, na primeira etapa, os resultados foram agrupados em oito grupos, segundo a orientação (Norte, Nordeste, Este, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste, Noroeste). Em cada grupo, admissão/distribuição luminosa e conveniência/inconveniência da incidência solar, foram estudados separadamente. Em seguida, as duas variáveis foram analisadas de forma integrada. Já, na segunda etapa, os grupos foram analisados juntamente, com o objetivo de observar as vantagens e desvantagens no uso dos dispositivos de controle solar aplicados sobre cada abertura em todas as orientações avaliadas.

A Figura 20 apresenta um resumo geral da metodologia.

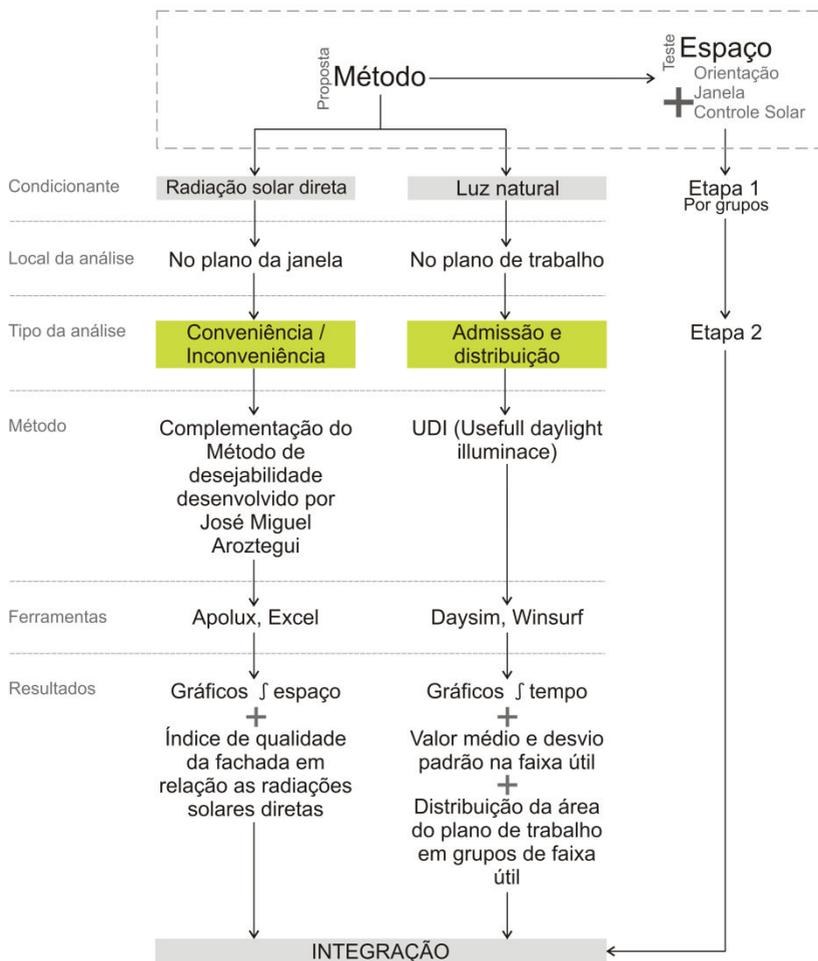


Figura 20 - Quadro resumo da metodologia

3.2 Métrica na estimativa da luz natural

A métrica escolhida para realizar a estimativa da admissão da luz natural foi *UDI (Useful Daylight Illuminances)*. Como visto, esta métrica indica a percentagem de tempo-ano em que o nível luminoso, calculado em um ponto, se encontra na faixa escura (<100 lux), na útil (entre 100 e 2000 lux) e na excessiva (>2000 lux).

Visando simplificar a quantidade de informação e facilitar a comparação dos resultados, optou-se por utilizar a média (\bar{x}) das percentagens de tempo-ano em que o nível luminoso calculado em uma malha de pontos permanece em cada faixa (ver Equação 13). Isto foi complementado com o cálculo do desvio padrão (σ) das percentagens de tempo-ano em que o nível luminoso permanece na faixa útil (ver Equação 14).

$$\bar{x} = \sum xi / n \quad (\text{Eq. 13})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

\bar{x} | Média

σ | Desvio padrão

xi | Valores da variável percentagem de tempo-ano em que o nível luminoso permanece em cada faixa UDI.

n | Número de elementos da população ou amostra.

3.3 Método de estimativa da Conveniência Solar

Para avaliar a conveniência/inconveniência da incidência solar propôs-se um método com base no desenvolvido por Aroztegui (1980), o qual avalia a eficiência de para-sóis externos segundo sua capacidade de geração de sombra ou permissão à penetração solar quando convenientes ao longo do ano.

Porém, a fim de adequar o método original aos objetivos do presente estudo, foram implementadas algumas alterações:

a) *Foi considerada apenas a radiação solar direta.* Com o objetivo de simplificar o ensaio do método, foi desconsiderada a radiação solar difusa.

b) Foram considerados acréscimos na temperatura interna devidos à carga interna típica de um ambiente de escritórios.

c) *A área do plano do vidro da janela atingida pelos raios solares, em função da área total da fachada, foi considerada relevante.* Diferente do indicado no método original de Aroztegui (1980), no método proposto o cálculo dos valores de Radiação

Solar Direta Ponderada (*RSP*)¹⁸, descrito na Equação 15, é realizado a partir da multiplicação de três fatores: o fator de ponderação (*FP*), a Radiação Solar Direta recebida no plano da fachada (*RSD*) e a razão entre a área ensolarada da janela (*AEJ*) e a área total da fachada (*ATF*). A inclusão da razão entre a área ensolarada da janela e a área total da fachada (*AEJ/ATF*) obedece à necessidade de diferenciar a valoração dos sistemas de fachada em função da permissão do ingresso de muito ou pouco sol.

$$RSP = FP * RSD * (AEJ / ATF) \quad (\text{Eq. 15})$$

Como o cálculo consiste na multiplicação do desejo real de Sol ou sombra (*FP*) pela disponibilidade de Sol para satisfazer esse desejo (*RSD*) e pela porção de vidro ensolarado em relação ao total da fachada (*AEJ/ATF*), a magnitude do resultado não indica o grau de desejabilidade de Sol ou sombra, mas sim a conveniência da penetração solar quando *RSP* é positivo (*+RSP*) e conveniência de sombra, quando *RSP* negativo (*-RSP*), segundo a proposição deste trabalho.

d) O *tratamento gráfico dos valores RSP não foi realizado através de diagramas solares*. Como no método original não é parte dos objetivos considerar a quantidade de sol que ingressa no espaço, após o cálculo dos valores de Radiação Solar Direta Ponderada (*n*), é realizado um mascaramento com o objetivo de visualizar as radiações penetrantes. Porém, já que no método proposto a quantidade de Sol que incide na janela é considerada relevante, cálculos de exposição solar deverão ser realizados em vários pontos da janela com o objetivo de se obter variações nos valores *RSP* em função da Área Ensolarada da Janela (*AEJ*). Isto implica em uma mudança da estratégia gráfica proposta por Aroztegui (1980): não foram utilizados diagramas solares para visualizar a distribuição de *RSP* ao longo do ano, nem para realizar a somatória em função do mascaramento. Em

¹⁸ Devido a que o método proposto não representa uma nova proposição mas apenas uma adaptação do método original desenvolvido por Aroztegui (1980) os nomes originais das variáveis são mantidos.

compensação, como mostrado no apêndice 8.4, para cada orientação foi utilizado um Diagrama Diagnóstico de Conveniência Solar, *DDC* (ver Figura 21), a partir do qual foram gerados os Diagramas Resultantes da implementação de diferentes soluções de fachada, *DRC* (ver Figura 22).

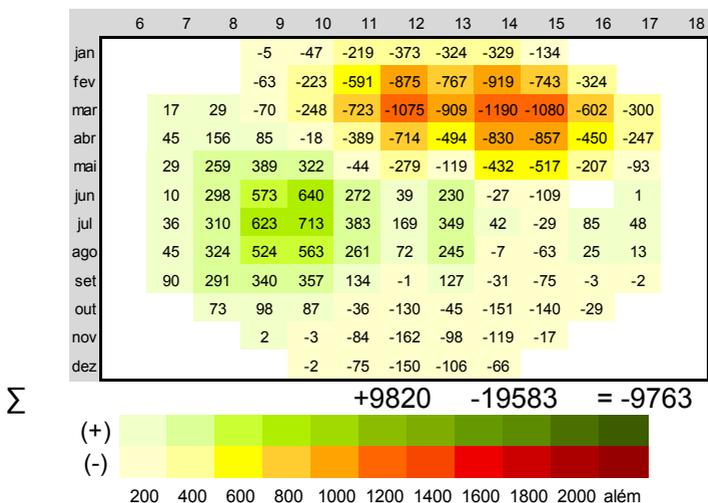


Figura 21 - DDC exemplo. Fachada Norte.

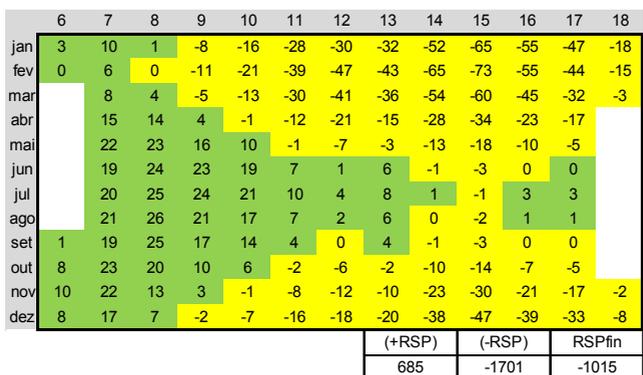


Figura 22 - DRC exemplo.

Os Diagramas Diagnóstico de Conveniência Solar (*DDC*) consistem em gráficos com as horas no eixo “x”, os meses no eixo “y” e os Valores de Radiação Solar Direta Ponderada (RSP) nas interseções, acompanhados de um sistema de cores que

indica o caráter e a intensidade da conveniência, ou inconveniência, gerada pela penetração solar. A gama dos verdes ressalta os valores positivos, ou convenientes, de Radiação Solar Direta Ponderada (+RSP), enquanto a gama dos amarelos, laranjas e vermelhos ressalta os valores negativos, ou não convenientes, de Radiação Solar Direta Ponderada (-RSP). Para o cálculo dos valores de Radiação Solar Direta Ponderada (RSP) dos Diagramas Diagnóstico de Conveniência (DDC) assumiu-se uma condição de insolação extrema, ou seja, o tamanho da janela foi definido como sendo igual à área total da fachada (ATF), onde o total da área da janela permaneceu exposto à radiação solar direta sempre que houve disponibilidade solar na orientação estudada. Isso significa que, nos DDC, o resultado da razão entre a área ensolarada da janela e a área total da fachada (AEJ / ATF) é igual a 1, o que faz com que a equação para calcular RSP (ver Equação 15) seja igual à equação original desenvolvida por Aroztegui (1980), diferenciando-se apenas nas variações devidas à inclusão da carga térmica interna.

Diferente dos Diagramas Diagnóstico de Conveniência (DDC), os Diagramas Resultantes (DRC) apresentam unicamente 2 cores para facilitar a visualização da distribuição anual das Radiações Solares Diretas Ponderadas: em verde são ressaltadas as convenientes (+RSP) e em amarelo as inconvenientes (-RSP). Nos Diagramas foi especificado o RSPfinal, valor que indica a qualidade da fachada em relação às radiações solares diretas.

Nos Diagramas de Conveniência, diagnósticos e resultantes, tal como no método original, foi realizado um somatório total dos valores convenientes (+RSPfinal) e inconvenientes (-RSPfinal), cujo resultado (RSPfinal) indica a qualidade do dispositivo em relação às radiações solares diretas.

3.4 Integração das variáveis

Com intuito de integrar as variáveis de modo a facilitar a visualização simultânea das análises de admissão de luz natural e de conveniência da incidência solar de varias opções de fachada, foi proposto um plano cartesiano, como mostrado na Figura 23. O eixo “y” contém as médias das percentagens de tempo-ano que o nível luminoso encontra-se na faixa útil, e o

eixo “x” contém os valores dos índices resultantes (*RSPfinal*) do método de Conveniência Solar proposto.

No Diagrama, quanto mais próximo o resultado da área superior esquerda (pontos vermelhos da Figura 23), melhor valorado será o sistema de fachada e quanto mais próximo da área inferior direita (pontos roxos da Figura 23) pior valorado.

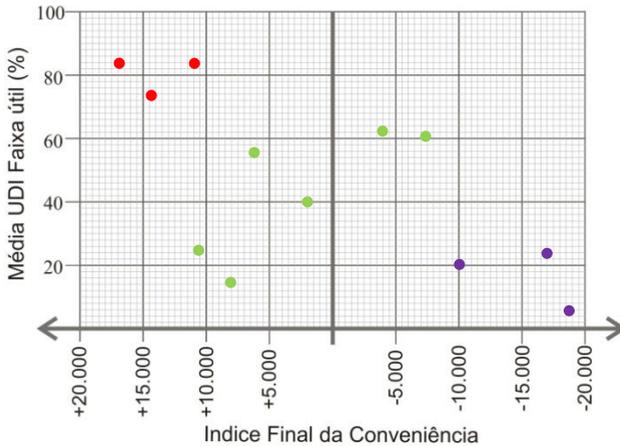


Figura 23 - Diagrama de Integração das Variáveis.

3.5 Modelo de estudo

A partir de considerações apontadas por Didoné (2009) na definição da tipologia predominante em Florianópolis, foi definido um ambiente hipotético de escritórios, sem mobília, representado por uma sala retangular com 8,0m de largura, 10,0m de profundidade e 2,7m de pé direito. Quanto às paredes, optou-se por trabalhar com tijolo comum de 0,15m de espessura.

O plano da abertura foi localizado na parede com 8,0m de largura. O plano de trabalho foi definido a uma altura de 0,75m do chão. A malha de cálculo do plano de trabalho consistiu na disposição ordenada de pontos em filas paralelas e colunas perpendiculares ao plano da janela (malha de 40x50). Tanto as filas quanto as colunas foram distanciadas 0,2m entre si. Além disso, o plano de trabalho inteiro foi afastado 0,1m das paredes internas do ambiente. No total, foram dispostos 40 pontos no sentido transversal e 50 no longitudinal.

Quanto às características físicas dos materiais internos, teto, piso e paredes foram definidos como difusores opacos, com 70%, 20% e 50% de refletância respectivamente. Já para o envidraçado optou-se por utilizar vidro claro de 87% de transmitância luminosa.

Os modelos foram avaliados em oito orientações: Norte (N), Nordeste (ND), Leste (E), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SO), Oeste (O), Noroeste (NO).

3.5.1 Aberturas

Para a análise simultânea de admissão/distribuição luminosa e conveniência/inconveniência da incidência solar, foram estabelecidos três tipos de janelas com *PAFs* (Percentual de Área de Abertura na Fachada) diferentes, tal como descrito na Tabela 8.

Tabela 8 - Tipos de janela

Cód.	PAF	Representação
J25	27.7% (4.0m x 1.5m)	
J50	55.5% (8.0 m x 1.5m)	
J75	74.0% (8.0m x 2.0m)	

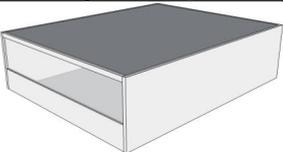
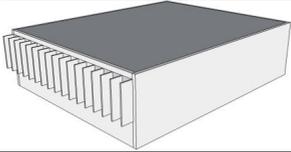
3.5.2 Dispositivos de controle solar

Para a análise das variações relacionadas aos dispositivos de controle solar foram estabelecidas quatro situações de proteção solar: uma sem elementos de obstrução solar (cód. Sdg) e três providas de elementos de sombreamento. Duas dessas três opções foram compostas por placas de 0,5m x 0,05m x dimensão da janela, intercaladas a cada 0,5m, uma delas no sentido vertical (cód. Sv50) e outra no sentido horizontal

(cód. Sh50). A última solução consistiu em uma placa de 1,0m de largura e 8,0m de comprimento, colocada na parte superior da janela (cód. Sv5). O material dos dispositivos de sombreamento foi definido como difusor opaco com 50% de refletância.

O resumo dos sistemas de controle usados é mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Tipos de dispositivos de controle solar. Ilustrações com a janela cód. J50 (PAF 55,5%).

Cód.	Sombra	Representação
Sdg	-	
Svv	AVS (ângulo vertical de sombreamento) = 56° para J25 e J50; 63° para J75	
Sh50	AVS (ângulo vertical de sombreamento) = 45°	
Sv50	AHS (ângulo horizontal de sombreamento) = 45°	

3.5.3 Nomenclatura

Com objetivo de facilitar a identificação das situações que foram estudadas, foi implementado um sistema de nomenclatura composto por dois dados: a abreviação da orientação e o número de identificação da opção de fachada, resultado da combinação de uma janela e um dispositivo de sombreamento. Por exemplo, o caso N01 indica o primeiro caso analisado da fachada Norte.

Para cada orientação foram identificadas 12 opções de fachada, resultantes das combinações de 3 tipos de janelas e 4 dispositivos de sombreamento. Na Tabela 10 são especificadas

as combinações de janela e de dispositivo de sombreamento correspondentes a cada número de identificação.

Tabela 10 - Combinações de janela e dispositivo de sombreamento correspondente a cada número de identificação.

Número do caso	Cód. janela	Cód. Disp. Controle Solar
01	j25	sdg
02		svv
03		sh50
04		sv50
05	j50	sdg
06		svv
07		sh50
08		sv50
09	j75	sdg
10		svv
11		sh50
12		sv50

3.6 Cálculo das variáveis

3.6.1 Luz Natural

O cálculo da admissão da luz natural foi realizado através de simulação computacional no programa *Daysim*, com o uso de um arquivo de dados climáticos do tipo *TRY (Test Reference Year)* que contém dados anuais, dispostos dia a dia em intervalos de 60min, para a cidade de Florianópolis.

No *Daysim*, a simulação dinâmica foi realizada para todos os dias úteis do ano (de segunda a sexta-feira) em intervalos de 60min, das 07h00min às 17h00min considerando usuários passivos que não fecham as cortinas.

Quanto à informação geométrica dos modelos, foram considerados dois tipos de dados possíveis (ver Tabela 11), tal como é sugerido por Reinhart (2006), segundo a existência, ou não, de elementos de controle solar no modelo.

Tabela 11 - Dados de entrada para modelos.

	Ambient bounces	ambient division	Ambient Sampling
Sem proteção solar	5	1000	20
Com proteção solar	7	1500	100

O resultado da avaliação da luz natural que forneceu o *Daysim* é baseado no tempo que o nível luminoso estimado em

cada ponto da malha de cálculo encontrou-se na faixa UDI-útil, UDI-insuficiente ou UDI-excessiva.

3.6.2 Conveniência da incidência solar

Visando gerar os Diagramas de Conveniência Solar (DDC e DRC), foram calculados, hora a hora para o dia representativo do mês, os valores *RSP*, tal como descrito na Equação 15 (pag. 59):

a) Os fatores de Ponderação (*FP*) foram calculados tal como indicado na Equação 1 (pag. 20). Para o cálculo da Temperatura Neutra (*Tn*), foi utilizado o modelo desenvolvido por Xavier (1999) a partir de observações realizadas em uma escola de segundo grau de Florianópolis – SC (ver apêndice 8.1). Além disso, como já tinha sido anunciado, a fim de não restringir a aplicação do método proposto a ambientes residenciais, foi considerado o aumento na Temperatura Ambiente (*Tam*) devido à carga térmica interna. Para isto, foi implementada uma modificação na Equação 2 (pag. 21), originalmente proposta por Aroztegui (1980), que consiste na adição de uma variável (*Vaci*), a qual representa o acréscimo na Temperatura Ambiente (*Tam*) devido à carga interna (ver Equação 16).

$$T_{am} = \frac{T_{ar} + T_{rm}}{2} + Vaci \quad (\text{Eq. 16})$$

Neste trabalho foram assumidas simplificações:

- O cálculo de *Vaci* foi realizado para um dia representativo de cada mês em intervalos de uma hora.

- O cálculo foi realizado a partir da diferença das médias mensais de Temperatura horaria, resultantes de duas simulações do modelo de estudo com janela cód. J50 sem dispositivo de sombreamento (sdg). As simulações foram realizadas no programa *EnergyPlus*, uma delas sem carga interna e a outra assumindo uma carga equivalente a 10 pessoas em atividades de escritório (117 W por pessoa), 10 computadores (100W cada um) e 200W constantes em iluminação artificial. As simulações foram realizadas para todos os dias úteis do ano das 07h00min até as 12h00min e das 14h00min até as 17h00min, com 2 intervalos de 30 minutos, um de manhã e outro de tarde, nos que a carga interna se reduziu à terceira parte. Nas simulações, que foram realizadas com arquivos climáticos em formato *TRY*, não foram considerados os ganhos provenientes da radiação solar

direta, mas foi considerado o efeito da exposição à ventilação natural na fachada.

Nas aberturas foi utilizado vidro claro de 2,5mm. As características do material da parede da fachada são descritas na Tabela 12. O restante das superfícies foram consideradas adiabáticas.

Tabela 12 - Dados de entrada para modelos sem proteção solar.

	Rugosidade	Espessura (cm)	Condutividade (W/m.k)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (J/kg.k)
Tijolo	Média	15	0,7	1250	860

Os valores $Vaci$ encontrados são descritos na Tabela 13:

Tabela 13 - $Vaci$ [°C]. Acréscimos na Temperatura Ambiente devidos à carga térmica interna.

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0,3	0,2	1,2	1,5	1,3	1,7	1,8	0,9	1,5	1,8	1,5	1,8	1,1
fev	0,3	0,2	1,2	1,6	1,3	1,7	1,8	1,0	1,6	1,8	1,6	1,9	1,1
mar	0,3	0,2	1,2	1,5	1,3	1,7	1,8	1,0	1,5	1,8	1,5	1,9	1,1
abr	0,3	0,3	1,3	1,7	1,4	1,9	2,0	1,0	1,6	2,0	1,7	2,1	1,2
mai	0,3	0,3	1,4	1,8	1,4	2,0	2,1	1,1	1,7	2,1	1,8	2,3	1,3
jun	0,3	0,3	1,4	1,9	1,5	2,1	2,2	1,1	1,8	2,2	1,9	2,4	1,3
jul	0,3	0,3	1,4	1,9	1,5	2,0	2,2	1,1	1,8	2,2	1,9	2,3	1,3
ago	0,3	0,3	1,4	1,9	1,5	2,0	2,2	1,1	1,8	2,2	1,9	2,4	1,3
set	0,3	0,3	1,4	1,8	1,4	2,0	2,1	1,1	1,8	2,1	1,8	2,3	1,3
out	0,3	0,3	1,4	1,8	1,4	1,9	2,1	1,1	1,7	2,1	1,8	2,2	1,3
nov	0,3	0,3	1,3	1,7	1,4	1,9	2,0	1,0	1,7	2,0	1,7	2,1	1,2
dez	0,3	0,3	1,3	1,6	1,3	1,8	1,9	1,0	1,6	1,9	1,6	2,0	1,2

A Temperatura do Ar (Tar) do dia representativo do mês (ver apêndice 8.2) foi calculada utilizando o critério do dia mensal típico descrito em ASHRAE (2009). Os valores utilizados de Temperatura Média das Máximas ($TMax$) e de Temperatura Média das Mínimas ($Tmin$), foram os calculados por Goulart (1993) a partir de dados registrados entre 1961 e 1970 (ver apêndice 8.3).

b) A área ensolarada da janela (AEJ) foi calculada no programa *Apolux*. O programa forneceu uma planilha com a área do plano de vidro da abertura exposta à radiação solar direta no dia representativo de cada mês em intervalos de 60min.

No módulo Fractal do programa, as superfícies foram fracionadas em áreas máximas de 0,1m². Porém, sobre o vidro, foi aplicado um fator de divisão correspondente a 20 vezes o aplicado ao resto de superfícies, resultando em áreas máximas de 0,005 m². No módulo Foton do programa, foi definida a resolução de visibilidade no globo número 7, ou seja, a abóbada celeste dividida 46.799 parcelas, como recomendado por Carvalho (2009).

3.6.3 Síntese do total de simulações

Nesta pesquisa foram realizadas 194 simulações: 96 luminosas no *Daysim*, mais 96 de exposição solar no *Apolux*, 2 de temperatura interna no *Energy Plus*.

O resumo do total de simulações realizadas é explicado na Figura 24:

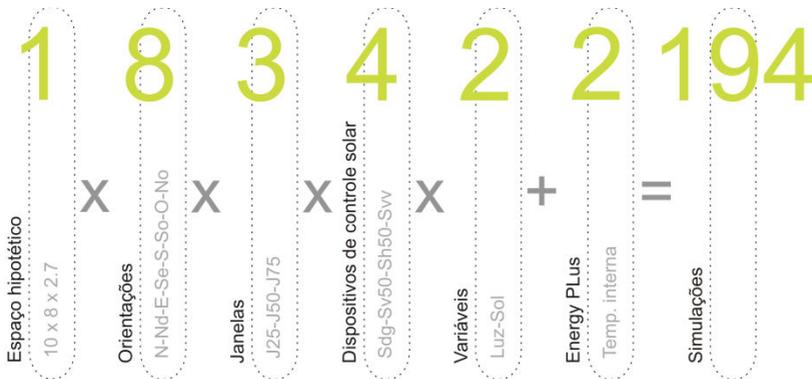


Figura 24 - Síntese do total de simulações

3.7 Processamento e análise dos dados

A análise dos resultados foi efetuada em duas etapas. Na primeira, com o intuito de responder à pergunta de qual combinação de abertura e dispositivo de controle solar é mais adequada em cada orientação, foram realizadas análises de resultados em 8 grupos, correspondentes às orientações estudadas. Inicialmente, em cada grupo foram analisados de

forma separada os resultados das avaliações de iluminação natural e de conveniência da incidência solar.

Nas simulações de iluminação natural, o programa *Daysim* forneceu um relatório dos resultados em formato *.htm*. A fim de analisar a distribuição na planta arquitetônica, com os resultados da faixa útil de cada caso, foram construídos gráficos (com curvas isoUDI-útil) no programa *Winsurf*, tal como exemplificado na Figura 25. No gráfico, a intensidade da cor verde indica a magnitude da percentagem de tempo em que o nível luminoso permanece nesta faixa, sendo que as cores mais escuras indicam altas percentagens. Além disso, os resultados foram tratados em planilhas de *Excel*, onde foram construídas tabelas com as médias das percentagens de tempo em que o nível luminoso permaneceu nas faixas pré-estabelecidas e seus desvios-padrão.

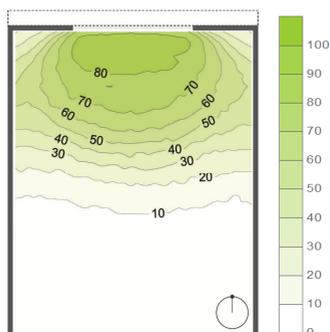


Figura 25 - Gráfico curvas isoUDI-útil

Adicionalmente, como resumo, foram construídos gráficos que mostram a distribuição da Área segundo UDI-útil (empiricamente chamados “DAU”), que mostram a distribuição das áreas dos planos de trabalho dos 12 casos, em dez intervalos (de 10% de amplitude cada um), de acordo com o tempo de permanência na faixa do nível luminoso útil. A Figura 26 mostra um exemplo desta estratégia gráfica para os casos estudados com fachadas viradas para uma orientação aleatória, denominada “X”.

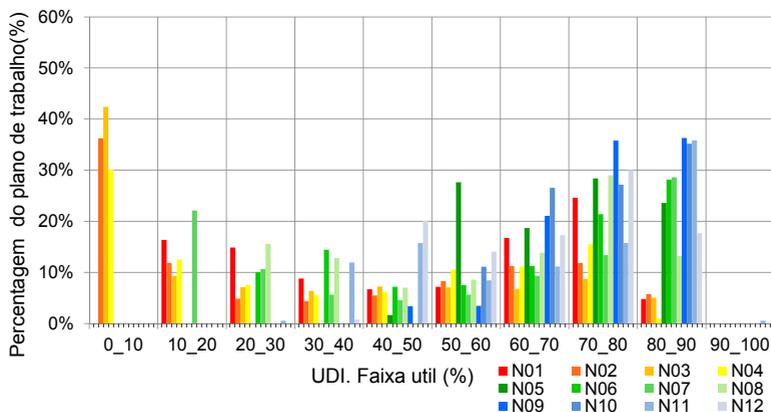


Figura 26 - Distribuição de áreas segundo UDI-útil (DAU)

No gráfico a distribuição das áreas é apresentada com variação da gama das cores segundo o PAF e das intensidades das cores segundo o tipo de dispositivo de sombreamento. A gama laranja corresponde aos casos com janela menor, PAF 27,7%, a gama verde aos casos com janela PAF 55,5% e a gama azul aos casos de janela PAF 74%. Já para o tipo de dispositivo, as cores mais escuras correspondem aos casos sem sombreamento (sdg). Na medida em que diminui a intensidade, a cor vai correspondendo, na sua ordem, aos casos com dispositivos cód. svv, sh50 e por último, a cor mais clara, ao sv50.

Já as simulações realizadas no *Apolux* geraram resultados em formato *.csv*, compatível com *Excel*. A partir desses resultados foram construídos os Diagramas Resultantes de Conveniência Solar (*DRC*), os quais permitiram comparar o desempenho das opções de fachada propostas segundo a sua capacidade de permitir o ingresso de raios solares quando convenientes e obstruí-los quando inconvenientes.

Adicionalmente, com o intuito de resumir os resultados e facilitar sua comparação, foi construída uma tabela, para cada orientação estudada, com os valores +RSP, -RSP e RSPfinal dos 12 casos estudados. Nas tabelas é mantido o sistema de cores dos *DRC*, e é adicionado uma cor cinza para ressaltar o valor RSPfinal.

No final de cada grupo, ou orientação, através de uma estratégia gráfica que incluiu a incorporação do Diagrama de

Integração das Variáveis, foram analisadas luz natural e conveniência da incidência solar, de forma simultânea. No diagrama, igual que nos gráficos DAU, foram utilizadas cores para diferenciar os casos segundo o PAF: a cor laranja corresponde aos casos com PAF 27,7%, a cor verde aos casos com PAF 55,5% e a cor azul aos casos com PAF 74%.

Já na segunda etapa, a fim de verificar o desempenho de cada sistema de fachada em cada orientação estudada, com o uso de um Diagrama de Integração Final foi realizada uma síntese de todos os casos simulados em todas as orientações, baseado nas informações analisadas na etapa anterior. Além disso, para uma melhor visualização dos resultados foram construídos Diagramas de Integração das Variáveis de cada solução de fachada nas oito orientações estudadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após a aplicação da metodologia explicada no capítulo anterior.

O Capítulo está dividido em duas partes. Na primeira, Etapa 1, os resultados são apresentados em oito itens, um para cada orientação estudada. Em cada item são realizadas análises de forma separada, da luz natural e da Conveniência Solar e, de forma integrada, com ajuda do diagrama proposto no item 3.4 (página 62). Na segunda parte, Etapa 2, são apresentados os resultados, de forma integrada, correspondentes a todas as orientações.

4.1 Etapa 1. Iluminação Natural e Conveniência Solar.

Nessa etapa são realizadas análises de luz natural e de Conveniência Solar para o ambiente hipotético com as variações em fachada.

Como anunciado, as análises do comportamento da luz natural são realizadas através de:

- Tabelas que contêm as médias (\bar{x}) e os desvios padrão (σ) dos valores percentuais de tempo em que o nível luminoso permanece nas faixas pré-estabelecidas.

- Gráficos que mostram em cores verdes a distribuição em planta dos resultados encontrados na faixa útil (curvas isoUDI-útil).

- Gráficos que mostram, para cada orientação solar, a distribuição da área do plano de trabalho dos doze casos, em grupos de 10% de amplitude, de acordo com o tempo de permanência na faixa UDI-útil

As análises da conveniência da incidência solar são realizadas através de um método baseado naquele desenvolvido por Aroztegui (1980), que indica a qualidade do sistema de fachada em relação à radiação solar. Porém, no método proposto, a eficiência dos dispositivos é analisada a partir da comparação entre os valores +RSP, -RSP e RSP finais dos DDC e dos DRC.

4.1.1 Fachada Norte Luz Natural

Com esta análise procura-se ressaltar as diferenças na iluminação natural quando modificado o sistema de fachada. Na Tabela 14, são mostradas as médias e os desvios-padrão das percentagens do tempo (ano) em que o nível luminoso permanece em cada uma das faixas luminosas pré-estabelecidas. A Figura 27 representa os gráficos com curvas isoUDI-útil da fachada Norte.

Tabela 14 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Norte

		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.
Média	N01	47.81	50.38	1.82	N05	25.50	70.39	4.11	N09	18.32	75.98	5.70
Desvio Padrão		25.45	23.35	5.27		25.45	11.42	5.27		8.83	9.74	12.14
Média	N02	65.65	34.04	0.30	N06	36.28	62.81	0.90	N10	23.58	74.52	1.90
Desvio Padrão		30.57	30.07	1.36		22.34	21.40	2.62		11.89	10.40	5.23
Média	N03	71.26	28.67	0.07	N07	45.38	54.39	0.25	N11	32.61	66.76	1.63
Desvio Padrão		29.25	29.12	0.36		28.17	27.89	0.76		19.44	18.75	1.65
Média	N04	63.48	35.84	0.69	N08	39.42	58.85	1.74	N12	31.15	66.30	2.55
Desvio Padrão		28.55	27.47	2.32		22.27	20.40	4.04		16.25	13.67	5.73

O tamanho da abertura é um fator que interfere significativamente na admissão de luz natural. Em todos os casos com PAF 27,7% (N01-N04) observam-se altas médias UDI-insuficiente (entre 48% e 66%) e baixas médias UDI-útil (entre 35% e 50%), com alto grau de dispersão dos dados. Isto implica uma distribuição menos uniforme de valores UDI-útil no plano de trabalho e pode ser verificado na Figura 27, através da rápida redução dos valores UDI-útil do plano da janela até o fundo do ambiente.

Além disso, também se pode dizer que o aumento da média UDI-útil dos casos com PAF 55,5% (N05-N08) para os casos com PAF 74% (N09-N12) não é muito significativo se comparado com o aumento nesses valores dos casos com PAF 27,7% (N01-N04) para os casos com PAF 55,5%. Uma das razões que contribui para essa diferença na taxa de aumento das médias UDI-útil é a porção de janela que fica abaixo do plano de trabalho nos quatro casos com janela maior. Essa porção da janela é desconsiderada no cálculo do componente direto da luz natural nos pontos da malha de cálculo.

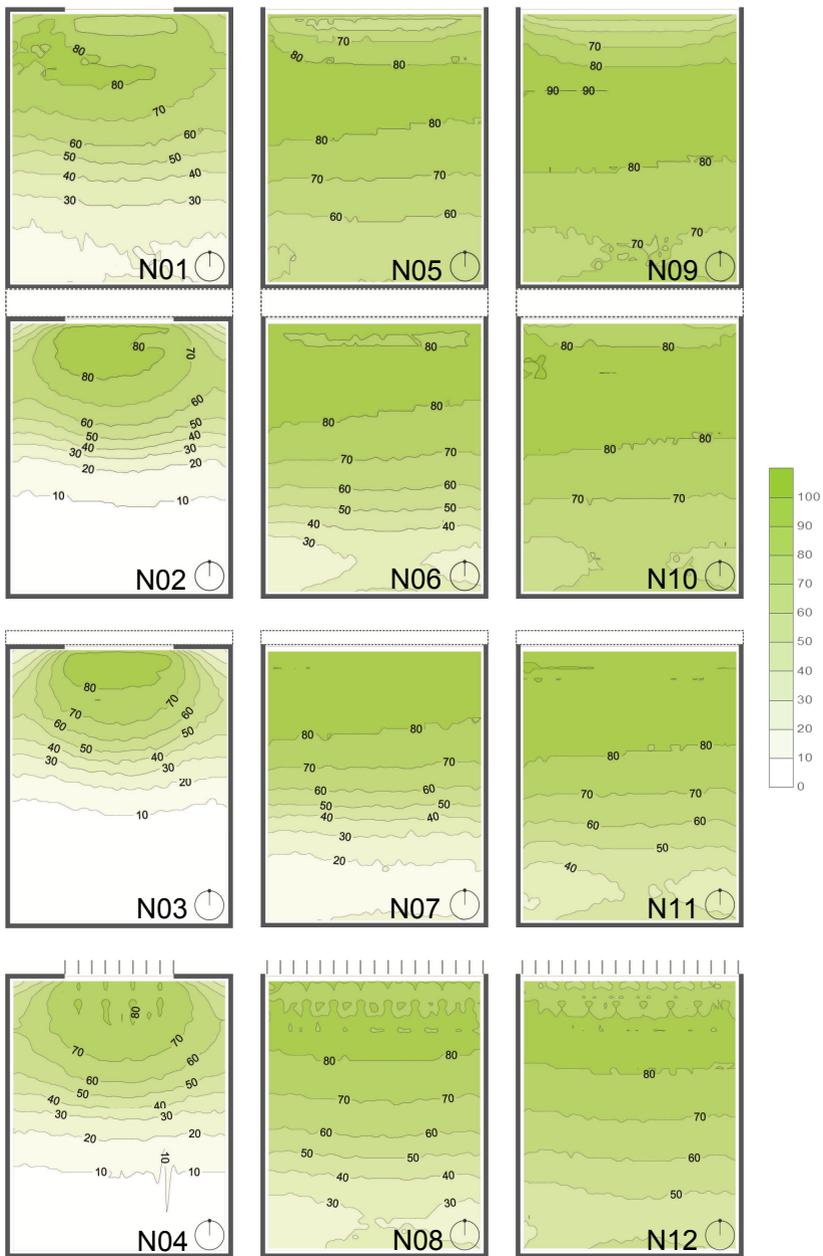


Figura 27 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada N.

Os dispositivos de controle solar são elementos que podem ser aproveitados para redirecionar os raios luminosos e melhorar a distribuição interna, principalmente em ambientes com fachadas voltadas a orientações com abundante disponibilidade solar. Para cada tamanho de janela estudada na fachada Norte, o tipo de dispositivo de sombreamento que apresentou maior interferência na iluminação natural foi o marcado com o código Sh50 (casos N03, N07 e N11). Apesar de serem os casos que apresentam as menores médias UDI-excessiva, também apresentam as menores médias UDI-útil e as maiores médias UDI-insuficientes.

O caso N09 (janela de PAF 74% desprovida de dispositivos de sombreamento) apresentou a menor média UDI-insuficiente, a maior média UDI-útil e o menor desvio padrão UDI-útil, ou seja, aparentemente as melhores condições luminosas. Porém, se comparado com o caso N10, pode-se observar que as diferenças na média UDI-útil e no desvio padrão não são significativas (1,4% e 0,66% respectivamente), enquanto que a média UDI-insuficiente aumenta em 5,48% e a média UDI-excessiva diminui em 3,8%. Contudo o caso N09 apresenta a maior média UDI-excessiva e o maior desvio padrão UDI-excessivo, fato que pode ser verificado na Figura 27: embora nos fundos do ambiente o caso N09 apresente um melhor desempenho, na zona próxima à janela do caso N10 é verificada uma distribuição mais uniforme. Essa diferença deve ser considerada antes de emitir um juízo de valoração dos dispositivos de sombreamento, já que, eventualmente os usuários de um ambiente com características similares às do N09 poderiam bloquear as janelas durante maior tempo do que os usuários de um ambiente com características similares às do N10.

A Figura 28 mostra a distribuição da área de plano de trabalho dos casos estudados na fachada Norte, em grupos de 10% de amplitude, de acordo com o tempo de permanência na faixa UDI-útil. Quase na totalidade do plano de trabalho dos ambientes com janela maior, a percentagem de tempo em que o nível luminoso permanece na faixa UDI-útil é superior a 50%. No caso N09, 93% da área do plano de trabalho apresenta níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil mais de 60% do tempo de uso do ambiente. Já no caso N10, 89% da área do plano de trabalho apresenta níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil durante mais de 60% do tempo de uso do ambiente.

Dos ambientes com PAF 55.5% (na gama do verde) destaca-se o caso N05, já que 71% da área do plano de trabalho apresenta níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil durante mais de 60% do tempo simulado. Porém, entre 80% e 90% do tempo, o plano de trabalho dos casos N06 e N07 apresentam áreas maiores com níveis luminosos na faixa UDI-útil (28,2% e 28,6% respectivamente), do que o plano de trabalho do caso N05. Neste último a ausência de dispositivos de sombreamento permitiu a penetração solar. Nos casos com janela menor (gama laranja na Figura 28), grande parte das áreas do plano de trabalho apresenta entre 0% e 20% do tempo níveis luminosos na faixa UDI-útil.

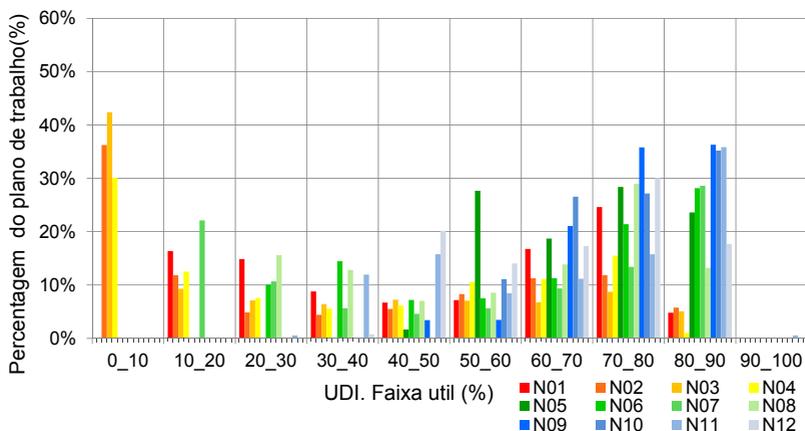


Figura 28 - DAU. Fachada Norte

Conveniência Solar

A eficiência dos dispositivos de sombreamento é medida segundo sua capacidade de impedir o ingresso de raios solares quando inconveniente e de possibilitá-lo quando conveniente. Como diagnóstico o valor RSPfinal do DDC (ver item 8.4) é -9763, o +RSPfinal é +9820 e o -RSPfinal é -19583.

Neste item, procura-se mostrar as diferenças na eficiência dos dispositivos de fachada, a partir dos resultados da aplicação do método da conveniência/inconveniência da incidência solar ao longo do ano. Os Diagramas de Conveniência resultantes da aplicação do método de Conveniência Solar (DRC) são mostrados como anexo, no item 8.5.

A Tabela 15 mostra o resumo dos DRC. Dos casos avaliados, os que possuem dispositivos de sombreamento horizontais (N02, N03, N06, N07, N10, N11) apresentam valores RSPfinal com sinal positivo. Isto se deve à geometria das fachadas, que reduzem a penetração solar quando inconveniente, principalmente entre fevereiro e abril, das 11h às 15h, e a permitem quando conveniente, principalmente entre junho e agosto às 09h e às 10h.

Embora, para cada tamanho de janela, os casos com dispositivos de sombreamento cód. Sh50 apresentem as maiores reduções de -RPS com relação aos valores descritos no DDC, os casos com dispositivo de sombreamento cód. Svv apresentam um balanço de RSP mais conveniente (456, 718, 884 para os três tamanhos de janela estudados).

Tabela 15 - Resumo RSP admitidas. Fachada Norte

Caso	RSPfinal			RSPfinal			RSPfinal	
	(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)
N01	2572	-4783	N05	5165	-9621	N09	7005	-13276
	-2210			-4455			-6271	
N02	889	-433	N06	1994	-1277	N10	3591	-2707
	456			718			884	
N03	255	-87	N07	572	-264	N11	838	-379
	168			309			459	
N04	675	-1896	N08	1334	-3853	N12	1656	-4634
	-1221			-2519			-2977	

Integração

A Figura 29 ilustra o desempenho das opções de fachada, simultaneamente na admissão da luz natural e na conveniência da incidência solar, a partir dos resultados encontrados nos estudos desenvolvidos anteriormente.

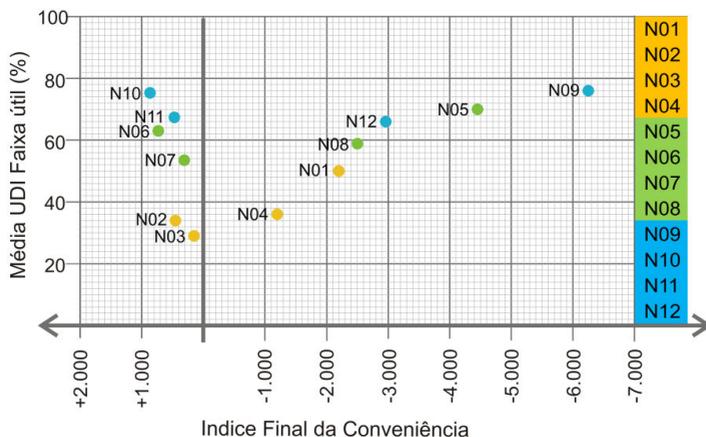


Figura 29 - Diagrama de Integração das Variáveis. Norte

No gráfico observa-se que N10, N11 e N06 apresentam um melhor desempenho combinado, já que obtiveram balanços de Radiações Solares Diretas Ponderadas (RSPfinais) mais favoráveis sem abrir mão da iluminação natural.

Por outro lado, se comparados com os casos de similar PAF que incluem algum dispositivo de sombreamento, nota-se que as opções N05 e N09, apesar de registrarem condições luminosas aceitáveis, têm também índices finais de Conveniência Solar muito baixos.

4.1.2 Fachada Nordeste Luz Natural

A Tabela 16 e a Figura 30 contêm os resultados das simulações luminosas realizadas sob o ambiente de estudo na fachada Nordeste.

Tabela 16 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Nordeste

	Insuf.	Útil.	Exces.	Insuf.	Útil.	Exces.	Insuf.	Útil.	Exces.			
Média	43.93	54.29	1.79	22.81	73.06	4.14	14.50	79.64	5.87			
Desvio Padrão	ND01	23.69	21.54	5.02	ND05	14.55	12.14	8.05	ND09	7.83	9.44	11.39
Média	61.98	37.64	0.38	31.29	67.57	1.15	19.16	78.65	2.18			
Desvio Padrão	ND02	28.98	28.29	1.40	ND06	20.70	19.55	2.56	ND10	11.11	9.63	5.03
Média	69.64	30.22	0.14	41.51	58.01	0.48	29.61	69.48	0.94			
Desvio Padrão	ND03	27.04	26.75	0.58	ND07	26.95	26.40	1.10	ND11	19.27	18.30	1.94
Média	62.10	37.02	0.87	36.64	61.10	2.30	28.05	68.78	3.16			
Desvio Padrão	ND04	27.31	25.80	2.54	ND08	22.67	20.21	4.30	ND12	17.02	14.05	6.05

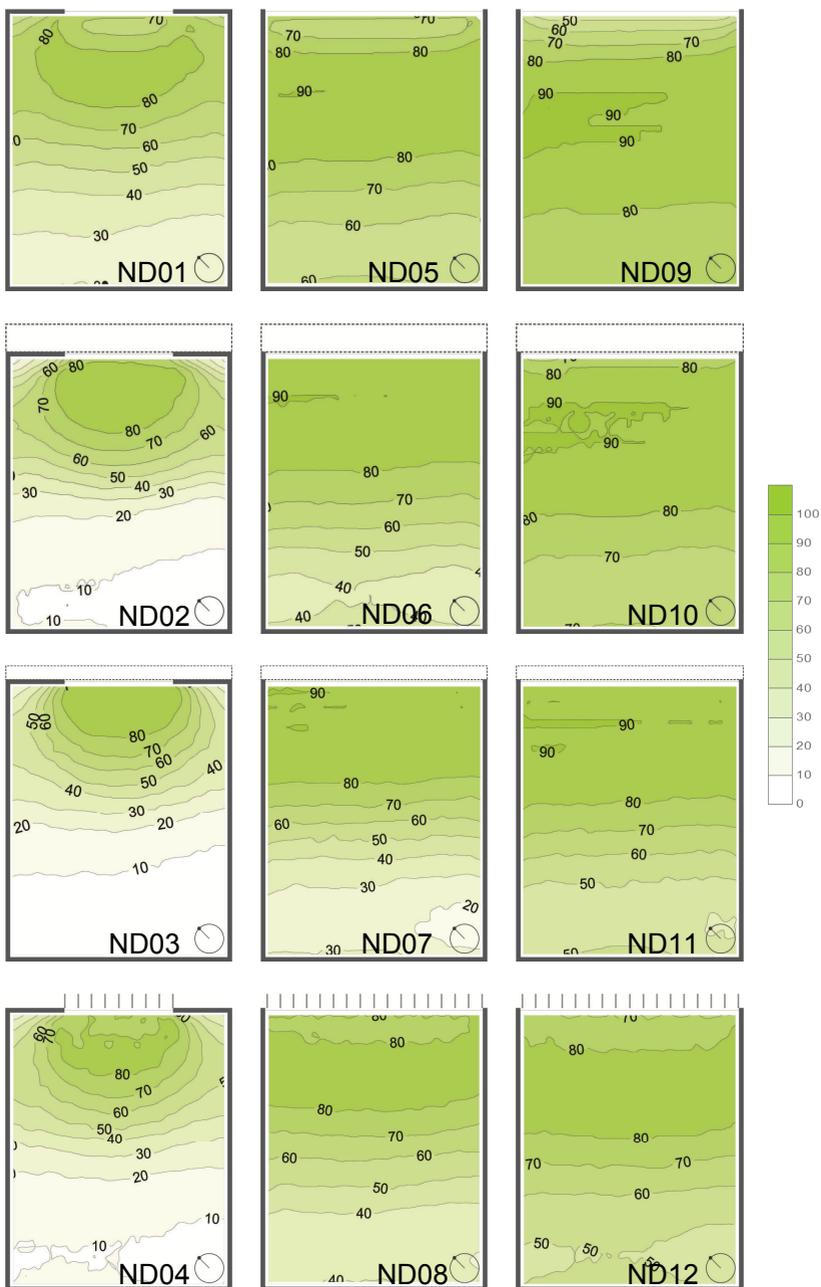


Figura 30 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada ND.

Assim como na fachada Norte, a interferência do tamanho da abertura é relevante nos casos com janela menor (ND01-ND04) os quais apresentam altas médias UDI-insuficiente (entre 43% e 62%) e com desvio padrão muito alto e baixas médias UDI-útil (entre 30% e 54%), também com desvio padrão muito alto. Esta situação pode ser observada nos quatro primeiros casos mostrados na Figura 30, onde há grandes áreas em verde claro e branco, principalmente nos lugares mais afastados das janelas. Contudo nesses casos com janela menor, as médias e os desvios-padrão UDI-excessivo são baixos.

Dos dispositivos de controle solar pode-se dizer que, sob o ponto de vista da luz natural, para os casos com PAF 27,7%, aquele que exibe o melhor desempenho é o marcado com o cód. Sdg (ND01), ou seja, ausência de dispositivo de controle solar. Semelhante à fachada Norte, o que maior interferência na iluminação natural apresenta é o marcado com o código Sh50 (caso ND03 para o tamanho de janela menor), já que, apesar de ser a opção que proporciona a menor média UDI-excessiva, apresenta a menor média UDI-útil e a maior média UDI-insuficiente. Entre os dois casos restantes com esse PAF, cód. Svv e cód. Sv50 (ND02 e ND04 respectivamente para o tamanho de janela menor) notam-se apenas sutis diferenças. Contudo, na medida em que se aumenta o tamanho da janela, incrementam-se as diferenças do desempenho destes dois tipos de dispositivos de sombreamento: dentre os casos avaliados com tamanho de janela maior (PAF 74%) os marcados com o cód. Sv50 (ND12) e com o cód. Sh50 (ND11) apresentam médias UDI-útil e UDI-insuficiente muito similares. Entretanto, o caso de cód. Svv (ND10) revela média UDI-útil e UDI-excessiva um ponto e mais de três pontos percentuais, respectivamente, inferiores às médias registradas no caso sem dispositivo de controle solar (ND09).

Além disso, em todos os casos desprovidos de dispositivos de controle solar (ND01, ND05, ND09) e nos casos com dispositivos verticais (ND04, ND08, ND12) observou-se uma redução dos valores UDI-útil na área adjacente à janela. Esta redução é proporcional ao aumento dos valores UDI-excessivo.

Adicionalmente, para os casos com PAF 55,5% (ND05-ND08) e com PAF 74% (ND09-ND12) a Figura 30 mostra uma tendência de aumento dos valores UDI-útil na área adjacente à parede Noroeste. Desses casos, o fenômeno descrito não é visível no

ND08 nem no ND12, pois os dispositivos verticais reduzem a incidência dos raios solares sob o vidro e sob as superfícies internas.

A Figura 31 mostra o gráfico DAU correspondente à Fachada Noroeste. Dos quatro casos avaliados com janela menor, mostrados na gama laranja, três apresentam mais da metade da área do plano de trabalho com níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil entre 0% e 30% do total do tempo avaliado. O caso ND03 apresenta 59,1% da área do plano de trabalho com níveis luminosos úteis nessa porção de tempo e apenas 13,1% da área do plano de trabalho com níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil mais de 70% de tempo ao ano.

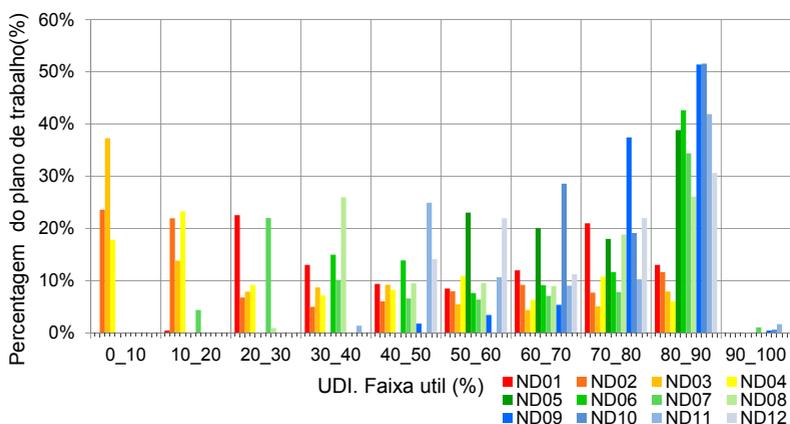


Figura 31 - DAU. Fachada Nordeste

Dos ambientes com PAF 55,5%, em verde, o caso ND08 (verde mais claro) destaca-se por apresentar valores UDI-útil superiores a 80% apenas em 26% do total da área de trabalho, enquanto que os outros casos apresentam mais de 35% da área do plano de trabalho com valores UDI-útil superiores a 80%. Contudo, ND08 apresenta apenas 1% da área do plano de trabalho com níveis luminosos UDI-útil entre 20% e 30% do tempo avaliado enquanto que o caso ND07 apresenta 22% da sua área com níveis luminosos úteis nesse mesmo intervalo de tempo.

Já os casos de PAF 74% apresentam quase a totalidade da sua área de plano de trabalho com níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil pelo menos 40% do tempo. Destaca-se ND09 por

apresentar 89% da sua área com níveis luminosos úteis mais de 70% do tempo ao ano. Os 11% restantes, concentram-se na área adjacente à janela, onde os valores UDI-útil diminuem e os UDI-excessivo aumentam devido à penetração solar. Adicionalmente, dos casos com janela maior sobressai o caso ND11 por apresentar a maior quantidade de área do plano de trabalho (25%) com valores UDI-útil inferiores a 50%.

Conveniência Solar

O Diagrama Diagnóstico de Conveniência Solar da Fachada Nordeste (ver apêndice 8.4.2) expõe um balanço de Radiações Solares Diretas Ponderadas com sinal positivo (+7925), produto da magnitude dos valores +RSP distribuídos ao longo do ano. Conseqüentemente, é comum encontrar valores RSP finais com sinais positivos nos Diagramas Resultantes de Conveniência Solar (ver apêndice 8.5.2). A Tabela 17 exibe o resumo desses Diagramas.

Tabela 17 - Resumo RSP admitidas. Fachada Nordeste

Caso	RSPfinal			RSPfinal			RSPfinal	
	(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)
ND01	4972	-2543	ND05	10022	-5116	ND09	13458	-7110
	2429			4906			6348	
ND02	2682	-77	ND06	5536	-243	ND10	8871	-823
	2606			5292			8048	
ND03	1431	0	ND07	2948	-6	ND11	3914	-5
	1431			2942			3909	
ND04	2656	-1497	ND08	5331	-2993	ND12	6505	-3792
	1159			2337			2714	

Para esta orientação todos os casos avaliados apresentaram valores RSP finais com sinal positivo. Apesar de que os casos com dispositivos de controle solar cód. Sh50 (ND03, ND07, ND11) reduzem os -RPS mais do que os casos com dispositivo de controle solar cód. Svv (ND02, ND06, ND10), os últimos destacam-se já que apresentam um balanço final de radiações (RSPfinal) mais conveniente. Isto se deve ao fato de que os dispositivos cód. Svv reduzem o ingresso de raios solares principalmente quando mais inconvenientes, entre dezembro e março das 10h às 13h, e não quando mais convenientes, ou seja, entre maio e outubro das 08h às 10h.

Além disso, percebe-se que os valores +RSP e -RSP dos casos com dispositivos de controle solar cód. Sv50 (ND04, ND08 e ND12) correspondem quase à metade dos mesmos valores dos casos desprovidos de dispositivos de controle solar, cód. Sdg (ND01, ND05 e ND09).

Integração

A Figura 32 mostra o Diagrama de Integração dos resultados de luz natural e de Conveniência Solar alcançados para um ambiente orientado ao Nordeste.

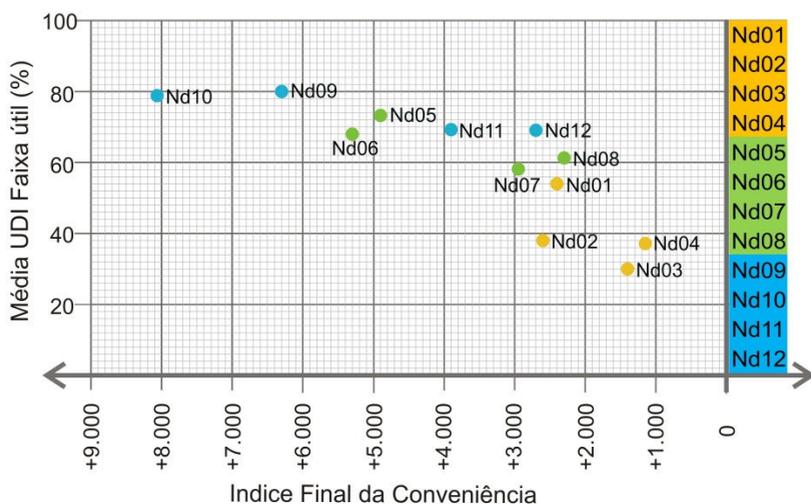


Figura 32 - Diagrama de Integração das Variáveis. Nordeste

Para cada tamanho de janela, a Figura evidencia que os casos com melhor desempenho combinado são os marcados com cód. Sdg e com cód. Sv (ND01 e ND02 para PAF 27,7%, ND05 e ND06 para PAF 55,5% e ND09 e ND10 para PAF 74%). Entre eles, destaca-se o caso ND10, por apresentar condições de penetração solar favoráveis sem abrir mão da iluminação natural.

4.1.3 Fachada Leste Luz Natural

A Tabela 18 exhibe, para os doze casos da Fachada Leste, as médias e os desvios-padrão UDI-útil, UDI-insuficiente e UDI-

excessiva estimados a partir dos dados obtidos em cada ponto da malha de cálculo. A Figura 33 ilustra os gráficos com curvas isoUDI-útil do ambiente com as diferentes opções de fachada orientadas ao Leste.

Tabela 18 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Leste

		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.
Média	E01	47.49	51.13	1.38	E05	26.81	70.01	3.16	E09	15.14	80.17	4.72
Desvio Padrão		23.44	21.47	3.94		25.45	16.35	5.27		8.82	7.87	8.40
Média	E02	62.33	37.33	0.33	E06	32.66	66.36	0.96	E10	20.10	77.92	2.00
Desvio Padrão		27.76	27.15	1.20		21.84	20.80	2.13		12.34	10.82	4.36
Média	E03	71.45	28.46	0.07	E07	42.92	56.74	0.30	E11	32.93	66.30	0.75
Desvio Padrão		24.15	23.95	0.36		25.87	25.45	0.75		21.95	21.10	1.52
Média	E04	64.76	34.59	0.65	E08	39.22	59.04	1.72	E12	31.62	65.76	2.61
Desvio Padrão		25.50	24.21	2.08		24.21	22.20	3.51		20.99	18.38	5.01

Nos casos avaliados na orientação Leste, E01, E02, E03 e E04 possuem médias elevadas de UDI-insuficiente e uma redução forte dos valores UDI-útil desde o plano da janela até o fundo do ambiente. Sob o ponto de vista luminoso, desses quatro casos, o desprovido de obstruções externas (E01) possui as condições menos críticas e, mesmo assim, sua média UDI-útil (51,13%) é menor do que as médias dos casos com janela maior que contêm dispositivos de sombreamento.

É notório que, dos dispositivos de controle solar estudados para cada tamanho de janela, os casos desprovidos de obstruções solares possuem as maiores médias UDI-útil e UDI-excessivas, as menores médias UDI-insuficientes e os menores desvios-padrão UDI-útil. Já, das opções restantes, os casos com fachadas com dispositivo de controle solar cód. Sh50 apresentaram as menores médias UDI-útil e UDI-excessiva e as maiores médias UDI-insuficiente. Contudo, dos casos com janela de PAF 27,7%, o E02, que contém o dispositivo de controle solar cód. Sv, possui o maior desvio padrão, ou seja, uma distribuição de valores UDI-útil menos uniforme.

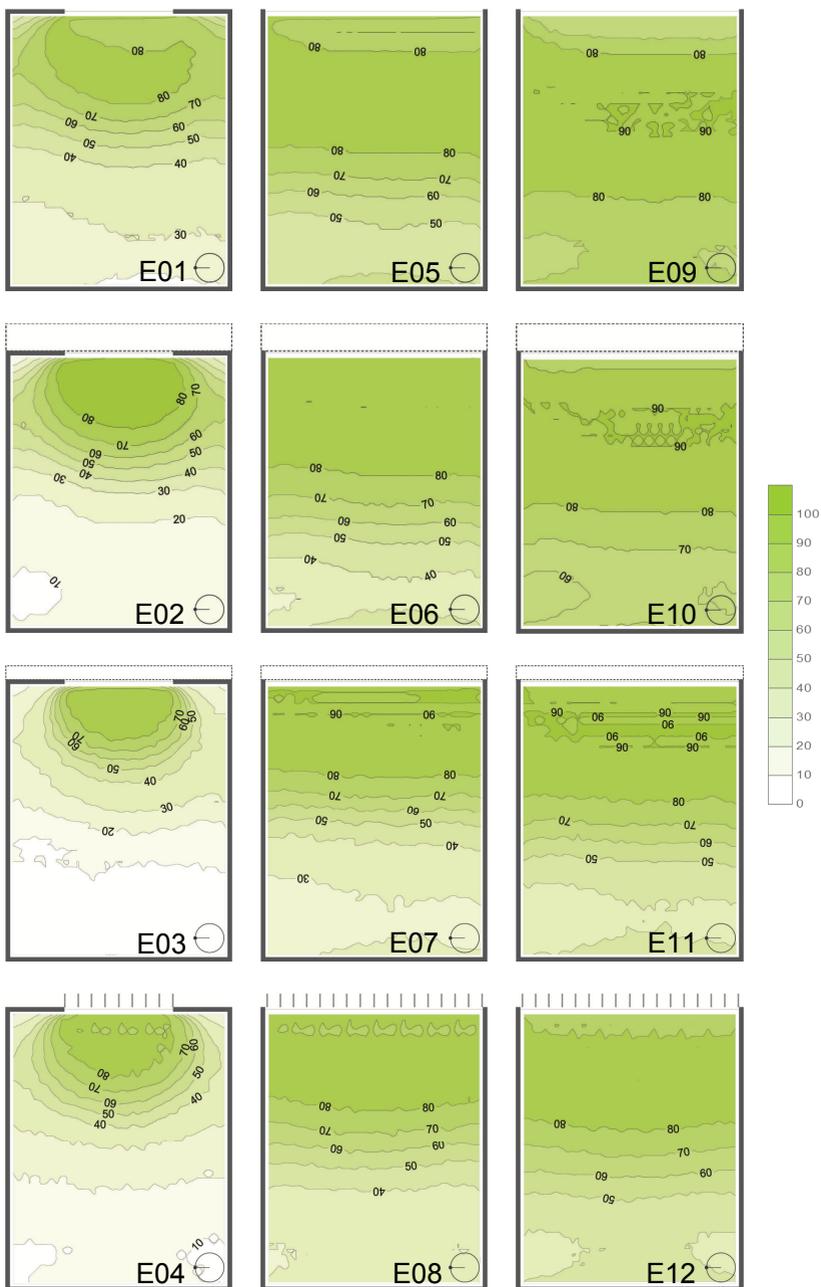


Figura 33 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada E.

Porém, percebe-se que na medida em que aumenta o tamanho da janela, diminuem-se as diferenças entre os casos com dispositivos cód. Sdg e SvV e entre os casos com dispositivo cód. Sh50 e sv50. Os casos E09 e E10, por exemplo, apresentam apenas sutis diferenças nas métricas estatísticas e na distribuição em planta dos valores UDI-útil. Dentre essas sutis diferenças destaca-se a zona próxima à janela, que no caso E09 apresenta valores UDI-excessivo maiores do que o caso E10. Por outro lado, a Figura 33 mostra a similaridade da distribuição UDI-útil entre os casos E11 e E12.

Adicionalmente, a Figura 33 mostra, na zona próxima à janela e à parede Sul dos casos E07, E09, E10 e E11, uma tendência ao aumento dos valores UDI-útil, devido à incidência da luz solar direta nos dispositivos de sombreamento e nas paredes internas.

A Figura 34 mostra o gráfico DAU correspondente à fachada Leste. A maior parte da área do plano de trabalho dos casos com janela PAF 27,7% (gama laranja), apresenta níveis luminosos úteis durante uma pequena percentagem de tempo: 83,1% da área do plano de trabalho de E03, 75,7% do E04, 67,2% do E02 e 55,2% do E01 apresentam níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil durante menos de 50% do ano.

Dos casos com janela de PAF 55,5% destaca-se o E08 (verde mais claro) porque quase dois terços da área do plano de trabalho está dividida entre dois intervalos UDI-útil: 33,4% da área possui níveis luminosos úteis entre 30% e 40% do tempo ao ano, enquanto que 30,5% da área apresenta níveis luminosos úteis entre 80% e 90% de tempo ao ano. O restante da área do plano de trabalho divide-se entre os intervalos UDI-útil de 40-50, 50-60, 60-70 e 70-80. De forma similar, o caso E07 apresenta uma grande porção da área do plano de trabalho dividida entre dois intervalos extremos. Por um lado, 31,3% da área possui níveis luminosos úteis entre 80% e 90% do ano, por outro lado, 42,8% do total da área do plano de trabalho possui níveis luminosos úteis entre 20% e 40% do ano. Já os casos com PAF 74% apresentam a maior parte das áreas dos planos de trabalho com nível luminoso suficiente entre 70% e 100% do ano: 51,4% nos casos E11 e E12, 69,6% no caso E10 e 85,2% no caso E09.

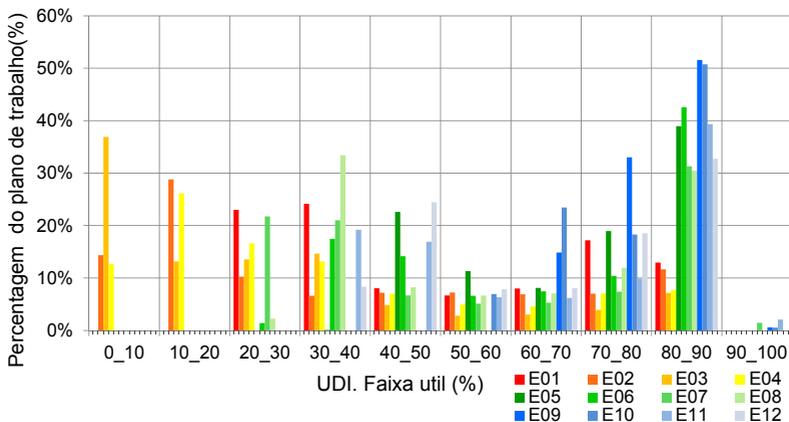


Figura 34 - DAU. Fachada Este

Conveniência Solar

O Diagrama Diagnóstico de Conveniência Solar da Fachada Leste (ver apêndice 8.4.3) apresenta um balanço de Radiações Solares Diretas Ponderadas com sinal positivo (RSPfinal = +10908), resultado da predominância e magnitude dos valores +RSP (+RSPfinal = +17915) em comparação com os -RSP (-RSPfinal = -7007). Como consequência, com o uso do método de Conveniência Solar para ambientes orientados ao Leste, é comum que as valorações da eficiência dos dispositivos de sombreamento sejam predominantemente positivas.

A Tabela 19 contém o resumo dos Diagramas Resultantes de Conveniência Solar. Todos os casos avaliados possuem valores RSPfinal com sinal positivo, mas, para cada tamanho de janela, os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sv50, apresentam o valor RSPfinal menos favorável. Contudo, apesar dos casos com dispositivos cód. Sh50 apresentarem os valores -RSP menores, a tabela indica que para todos os tamanhos de janela, os resultados dos balanços das Radiações Solares Diretas Ponderadas dos casos com dispositivo cód. Sh50 e Sv50 são bastante similares.

Já, os casos com dispositivos de sombreamento cód. Ssv (E02, E06 e E10) destacam-se em desempenho. Se comparado o caso E10 com o E09 (janela maior desprovida de dispositivo de sombreamento), por exemplo, nota-se que os valores RSPfinais são semelhantes, mas o primeiro caso apresenta uma redução muito maior dos -RSP.

Tabela 19 - Resumo RSP admitidas. Fachada Este

Caso	(+RSP)	(-RSP)	Caso	(+RSP)	(-RSP)	Caso	(+RSP)	(-RSP)
	RSPfinal			RSPfinal			RSPfinal	
E01	4740	-1675	E05	9577	-3353	E09	12857	-4602
	3065			6224			8255	
E02	2711	-78	E06	5596	-206	E10	8805	-578
	2633			5391			8227	
E03	1646	-2	E07	3294	-1	E11	4355	-2
	1644			3293			4353	
E04	2401	-859	E08	4826	-1724	E12	6140	-2141
	1543			3102			3999	

Integração

A Figura 35 mostra o resultado da integração das variáveis estudadas no modelo orientado ao Leste.

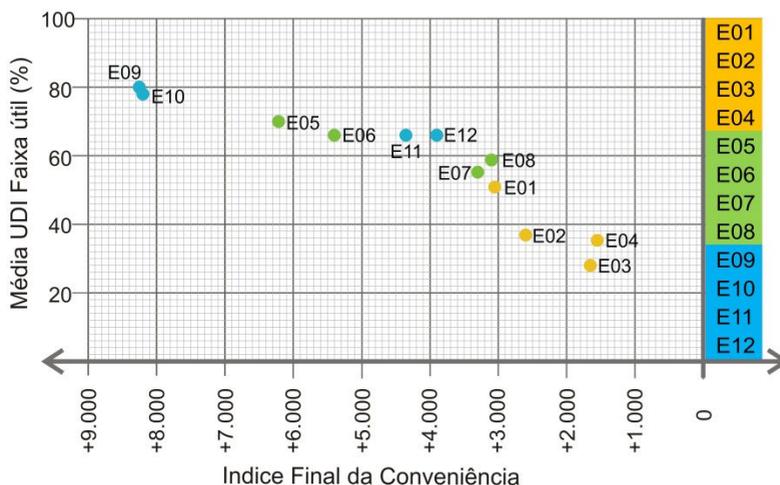


Figura 35 - Diagrama de Integração das Variáveis. Leste

Para todos os tamanhos de janela, os casos com dispositivos de sombreamento cód. Sh50 e Sv50 exibiram o pior desempenho: o gráfico mostra, por exemplo, que o caso E01 localiza-se próximo aos casos E07 e E08. Além disso, apesar de possuir uma janela maior, os casos E11 e E12 localizam-se em uma zona do gráfico menos favorável do que os casos E05 e E06.

4.1.4 Fachada Sudeste Luz Natural

A Tabela 20 e a Figura 36 contêm os resultados das simulações luminosas realizadas sobre o ambiente de referência orientado ao Sudeste.

Tabela 20 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Sudeste

		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.
Média	SE01	59.71	39.78	0.53	SE05	34.73	64.02	1.23	SE09	20.09	78.00	1.92
Desvio Padrão		30.33	29.54	1.67		25.44	24.22	2.76		12.92	11.46	4.39
Média	SE02	71.87	28.06	0.07	SE06	42.39	57.34	0.29	SE10	26.80	72.56	0.63
Desvio Padrão		29.82	29.66	0.28		28.94	28.60	0.67		17.76	17.08	1.53
Média	SE03	81.01	18.98	0.01	SE07	54.03	45.90	0.06	SE11	42.23	57.58	0.19
Desvio Padrão		24.86	24.81	0.11		32.98	32.87	0.28		28.79	28.57	0.50
Média	SE04	77.49	22.43	0.09	SE08	52.09	47.67	0.24	SE12	43.20	56.41	0.39
Desvio Padrão		27.78	27.58	0.48		31.27	30.94	0.84		28.32	27.85	1.23

Nos casos com menor tamanho de janela, incluindo-se os desprovidos de dispositivos externos que reduzam a admissão de luz natural, verifica-se que, durante grande parte do ano, a maior parte da área do plano de trabalho não possui níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil. Para todos os casos com janela de PAF 27,7%, a Figura 36 exhibe uma rápida redução dos valores UDI-útil do plano da janela até o plano do fundo, enquanto que a Tabela 20 salienta médias UDI-útil muito baixas e desvios-padrão elevados.

Contudo, apesar do aumento das médias UDI-útil e da diminuição das médias UDI-insuficiente dos casos com janela PAF 55,5% (SE05, SE06, SE07 e SE08) se comparados com os casos com janela menor, a redução dos desvios-padrão UDI-útil não é muito significativa, chegando inclusive a aumentar nos casos com dispositivos de sombreamento cód. Sh50 e Sv50. Isto demonstra que, embora os níveis luminosos aumentem quando modificado o tamanho da janela, a redução das iluminâncias do plano da parede até o fundo do ambiente, continua a ser significativa.

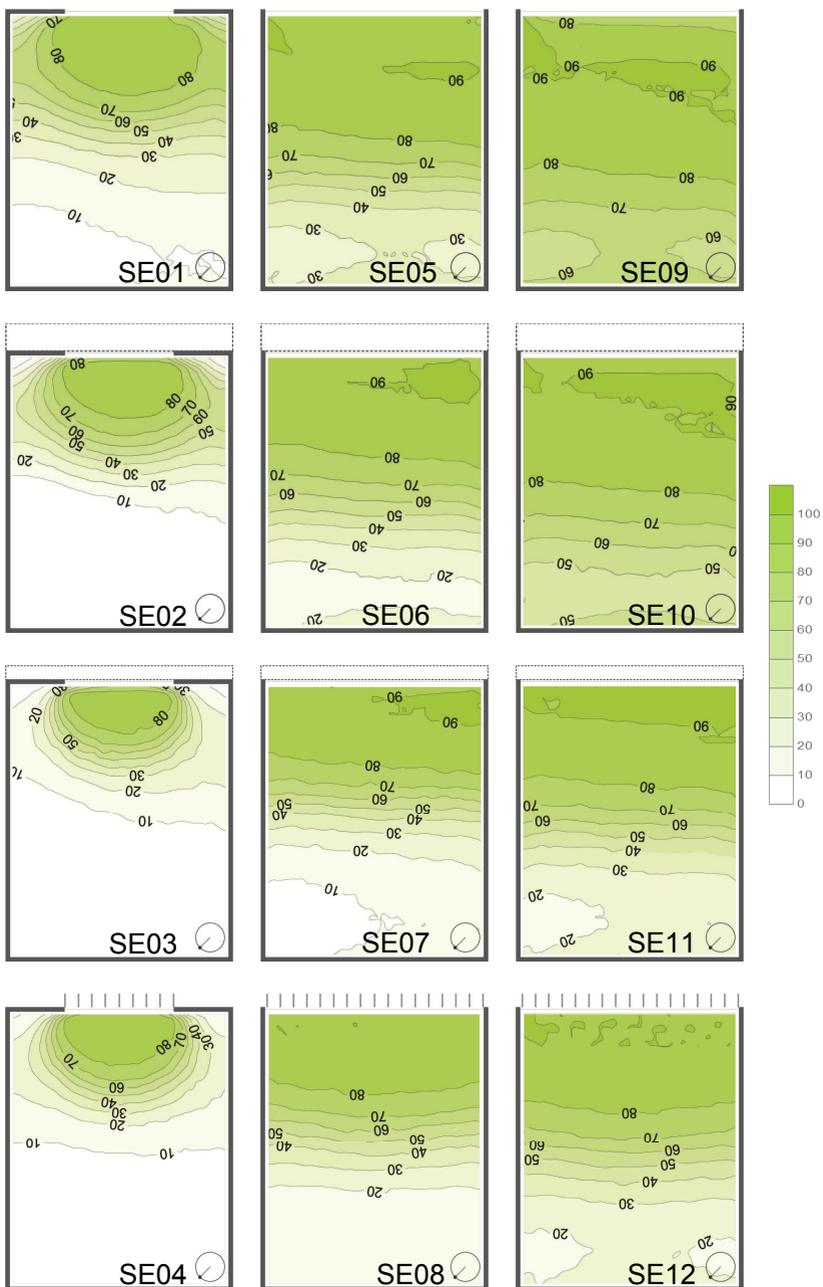


Figura 36 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada SE.

Essa tendência se mantém nos casos SE11 e SE12, os quais, apesar de possuírem janela maior, aparentemente apresentam condições luminosas menos favoráveis do que o caso SE05 e condições muito parecidas às do caso SE06.

Por outro lado, a Tabela 20 indica que, para cada tamanho de janela, dos dispositivos de sombreamento avaliados o marcado com o cód. Sh50 é o que mais interfere na admissão e distribuição da luz natural: embora, para os casos com janelas menores, os casos SE03 e SE07 proporcionam as menores médias UDI-excessiva, estes casos apresentam as menores médias UDI-útil e as maiores médias UDI-insuficiente. Já para os casos de janela maior, a opção de fachada marcada com cód. Sv50 (caso SE12) expõe a maior média UDI-insuficiente, a menor média UDI-útil e um desvio padrão muito elevado.

Adicionalmente, na Figura 36 observa-se que na maioria dos casos de PAFs 55,5% e 74% existe uma zona próxima ao plano da fachada com valores UDI-útil superiores a 90%. Porém, apenas no caso SE11 essa zona ocupa uma porção do plano de trabalho superior a 10%. Para maior precisão, a Figura 37, cujo gráfico DAU corresponde à Fachada Sudeste, indica que 10,9% do plano de trabalho do caso SE11 revela valores UDI-útil superiores a 90%. Contudo, nessa Figura observa-se que, entre os casos com janela de PAFs 55,5% e 74%, o que apresenta a menor área do plano de trabalho com níveis UDI-útil entre 80% e 90% é também o SE11 (apenas 25,6%). Além disso, para as opções de fachada com janela de PAF 55,5% e 74%, a Figura 37 mostra que o casos SE06, SE07, SE08, SE11 e SE12 apresentam mais de 40% da área do plano de trabalho com valores UDI-útil inferiores a 50%, enquanto que o caso SE05 apresenta 35,9% da área do plano de trabalho com níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil menos de 50% do tempo no ano. Apenas os casos SE09 e SE10 apresentam pequenas percentagens do plano de trabalho com valores UDI-útil inferiores a 50% (0,0% e 18,3% respectivamente).

Do mesmo modo, percebe-se que os casos SE07 e SE08 possuem mais de 35% da área do plano de trabalho com níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil durante menos de 20% do tempo ao ano. Já dos casos com janela menor, nota-se que a maior quantidade da área do plano de trabalho apresenta níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil durante menos de 30% do total de tempo avaliado: 51%, 62,6%, 80,2% e 73,9% da área do

plano de trabalho dos casos SE01, SE02, SE03 e SE04 respectivamente.

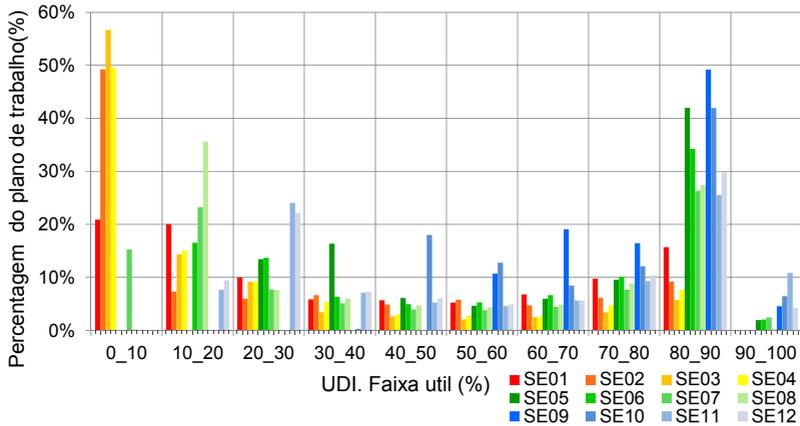


Figura 37 - DAU. Fachada Sudeste

Conveniência Solar

Devido ao fato de que dentre os valores RSP colocados no Diagrama Diagnóstico de Conveniência Solar da Fachada Sudeste (ver apêndice 8.4.4) predominam os +RSP, vários deles maiores de +400, e nenhum dos -RSP inferior a -400, o valor RSPfinal deste Diagrama possui sinal positivo. Como consequência, a probabilidade de obter DRCs com RSPfinais positivos é maior em ambientes com esta orientação do que com outras, cujo valor RSPfinal do DDC possua sinal negativo. Os DRCs dos casos orientados ao Sudeste encontram-se no apêndice 8.5.4. A Tabela 21 mostra o resumo dos DRC de ambientes com esta orientação.

Não só pelo fato de permitir a penetração solar quando inconveniente (entre dezembro e fevereiro das 9h até o médio dia) mas também por impedi-la quando conveniente (principalmente entre agosto e novembro das 7h às 9h) para todos os tamanhos de janela, os casos marcados com dispositivos de sombreamento cód. Sv50 apresentam o valor RSPfinal menos conveniente. Entretanto, dos dois casos restantes que incluem dispositivos de sombreamento, os marcados com cód. Svv possuem RSPfinais mais convenientes.

Contudo, dentre todos os casos avaliados destaca-se o SE09 por possuir o RSPfinal mas conveniente. Porém, do caso SE10 deve ser ressaltado que possui um balanço das radiações solares ponderadas muito parecido com o caso SE05, mas o valor $-RSP_{final}$ deste último excede em 8,87 vezes o mesmo valor do caso SE09.

Tabela 21 - Resumo RSP admitidas. Fachada Sudeste

Caso	RSPfinal		Caso	RSPfinal		Caso	RSPfinal	
	(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)
SE01	2090	-514	SE05	4200	-1055	SE09	5690	-1484
	1576			3146			4207	
SE02	1055	0	SE06	2298	-46	SE10	3646	-119
	1055			2252			3527	
SE03	582	0	SE07	1212	-3	SE11	1544	-4
	582			1209			1540	
SE04	333	-168	SE08	657	-346	SE12	876	-386
	165			311			490	

Integração

A Figura 38 mostra o Diagrama de Integração dos casos orientados ao Sudeste.

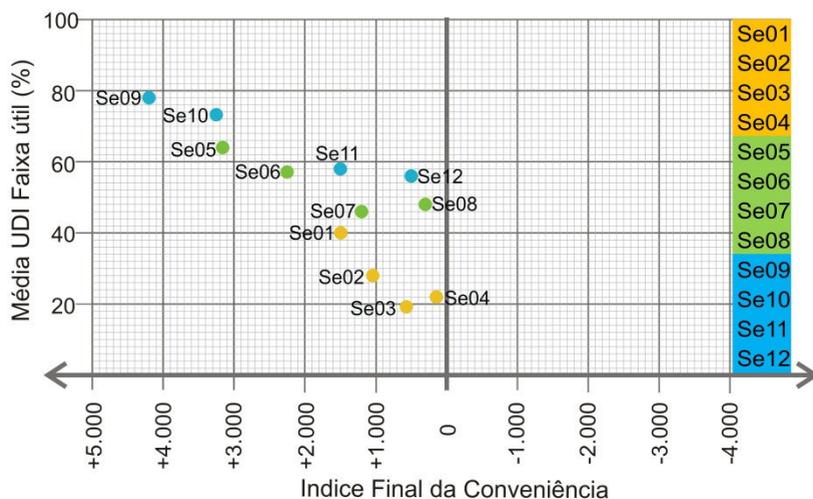


Figura 38 - Diagrama de Integração das Variáveis. Sudeste

Todos os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sv50 encontram-se localizados próximos à região inconveniente. Sobressaem os casos SE09, SE10 e SE05 por apresentarem os melhores desempenhos combinados de luz natural e Conveniência Solar. Contudo, embora invisível na Figura 38, desses três casos destaca-se o SE10, já que pelo fato de possuir o valor $-RSP_{final}$ menos inconveniente infere-se que poderia apresentar menores consumos energéticos em sistemas de refrigeração.

4.1.5 Fachada Sul Luz Natural

Na Tabela 22, é mostrado, para cada caso estudado na Fachada Sul, a distribuição, em três faixas, das médias e dos desvios-padrão de tempo-ano de permanência do nível luminoso estimado em cada ponto da malha de cálculo. Já a Figura 39 mostra os gráficos com curvas isoUDI-útil de cada caso.

Tabela 22 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Sul

		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.
Média	S01	70.35	29.65	0.00	S05	44.16	55.82	0.02	S09	26.67	73.20	0.14
Desvio Padrão		32.84	32.83	0.00		30.64	30.61	0.17		15.97	15.80	0.73
Média	S02	78.90	21.10	0.00	S06	51.87	48.14	0.00	S10	34.19	65.82	0.00
Desvio Padrão		28.74	28.74	0.00		32.93	32.94	0.00		20.64	20.62	0.09
Média	S03	87.56	12.44	0.00	S07	64.54	35.46	0.00	S11	54.02	45.99	0.00
Desvio Padrão		24.23	24.23	0.00		35.86	35.86	0.00		34.48	34.47	0.00
Média	S04	83.48	16.52	0.00	S08	61.97	38.04	0.00	S12	52.66	47.35	0.00
Desvio Padrão		26.54	26.55	0.00		34.96	34.98	0.00		32.27	32.27	0.00

A Tabela mostra que na maioria dos casos, a média das percentagens de tempo no qual o nível luminoso, estimado em cada ponto da malha de referência, ultrapassa os 2000lux é equivalente a 0,00% do ano. Apenas os casos S05 e S09 apresentam médias UDI-excessiva maiores, e, mesmo assim, continuam a ser baixas (0,02% e 0,14% respectivamente).

Dos casos com janela de menor tamanho, destaca-se o caso com dispositivo de controle solar cód. Sh50 (caso S03) por apresentar a maior média UDI-insuficiente com desvio padrão alto e a menor média UDI-útil. Dentre os casos contendo outros tamanhos de janela, também ressaltam os que possuem esse dispositivo de sombreamento, já que, apesar de verificar-se um

aumento na média UDI-útil, o desvio padrão aumenta. Esta situação pode ser observada graficamente na Figura 39, na qual os casos S07 e S11 além de exibirem zonas adjacentes à janela com valores UDI-útil superiores a 80%, apresentam também grandes áreas com valores UDI-útil inferiores a 10% na zona do fundo do ambiente. Contudo, tanto na Tabela quanto na Figura, comparações entre os casos S07 e S08 e entre S11 e S12 revelam resultados luminosos muito parecidos.

Diferente dos resultados obtidos em algumas das orientações estudadas anteriormente, os casos desprovidos de obstruções solares externas apresentam maiores áreas com valores UDI-útil superiores a 90% do que os casos com dispositivos de controle solar. Isto devido a pouca disponibilidade solar na parte Sul da abóbada celeste que, por um lado, evita médias UDI-excessivo muito elevadas e, por outro, diminui a possibilidade de aproveitamento de reflexões da luz solar direta nos dispositivos externos.

Consequentemente, dos casos estudados na fachada Sul, o S09 apresenta as melhores condições luminosas: a menor média UDI-insuficiente e a maior média UDI-útil, acompanhada do menor desvio padrão. Adicionalmente, as Figuras 39 e 40 mostram que este caso, além de apresentar uma percentagem de área do plano de trabalho com valores UDI-útil superiores a 90%, é o único que não possui áreas marcadas com valores UDI-útil inferiores a 40%. Já dos casos restantes com mesmo tamanho de janela, destacam-se o S11 e o S12, já que apresentam, respectivamente, 35,8% e 33,95% da área do plano de trabalho com níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil durante menos de 20% do ano. Por outro lado, o caso S10 apresenta condições luminosas mais parecidas com o caso S09.

Para os casos com janela PAF 55,5%, as Figuras 39 e 40, mostram que a maior parte da área do plano de trabalho dos casos S07 e S08 encontra-se dividida entre dois intervalos da faixa UDI-útil: do caso S07, 45,3% da área do plano de trabalho apresenta níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil entre 0% e 10% do total de tempo estudado, enquanto que 19,5% da área do plano de trabalho apresenta níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil entre 80% e 90% do ano. O restante, 35,2% da área, encontra-se distribuída entre os intervalos intermediários. Por outro lado, do plano de trabalho do caso S08, 37,9% encontra-se dentro do intervalo 0-10 e 21% dentro do intervalo 80-90.

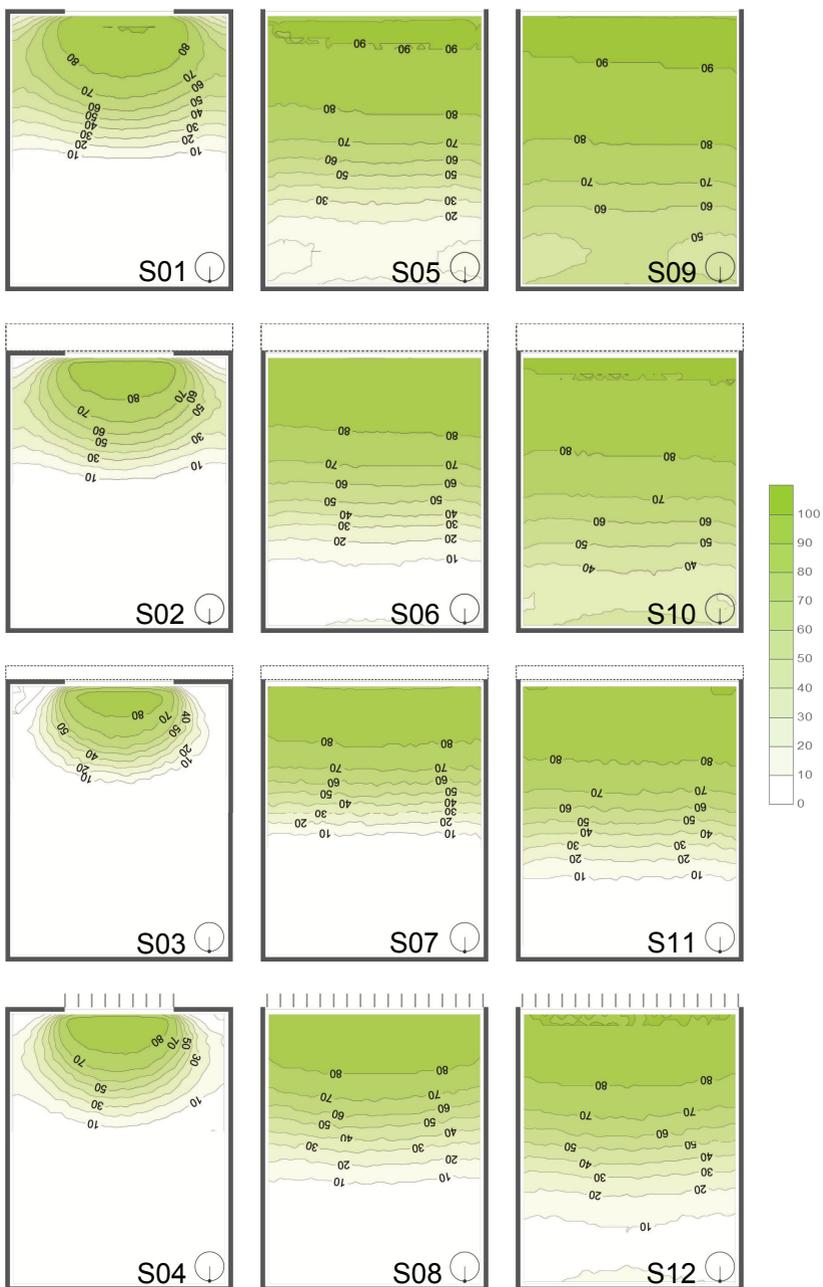


Figura 39 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada S.

Nos casos restantes com tamanho de PAF 55,5% se repete a tendência da distribuição da maior parte da área do plano de trabalho entre intervalos localizados nos extremos da Figura 40: os casos S05 e S06 apresentam respectivamente 24% e 32,6% da área do plano de trabalho com níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil entre 0% e 20% do ano, enquanto que, também respectivamente, 41,2% e 39,4% da área do plano de trabalho permanece na faixa UDI-útil entre 70% e 90% do ano.

Todos os casos com janela de PAF 27,7% possuem mais de 49% da sua área com níveis luminosos na faixa UDI-útil entre 0% e 10% do tempo ao ano.

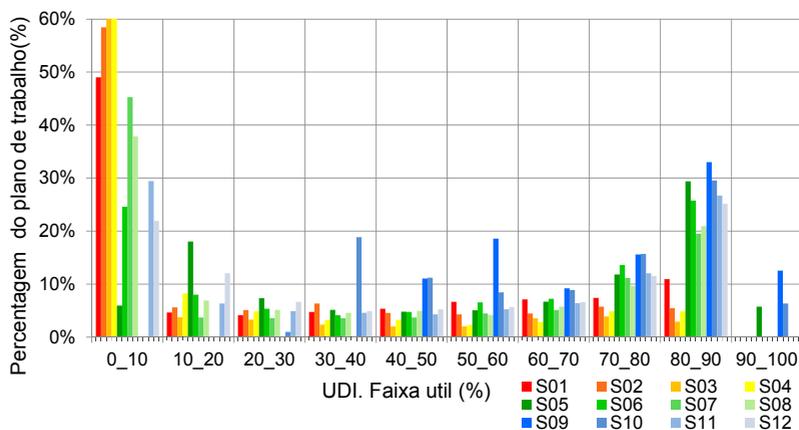


Figura 40 - DAU. Fachada Sul

Conveniência Solar

O método de Conveniência Solar trabalha a partir da disponibilidade solar em cada fachada. Tal como mostrado no DDC (ver apêndice 8.4.5), para a Fachada Sul de ambientes localizados na cidade de Florianópolis existe disponibilidade solar entre outubro e fevereiro no início da manhã e no final da tarde. Como consequência a magnitude do valor RSPfinal do DDC (-1353) e dos DRC não é muito alta. A Tabela 23 mostra os valores +RSPfinal, -RSPfinal e RSPfinal obtidos nos doze casos estudados orientados ao Sul.

Tabela 23 - Resumo RSP admitidas. Fachada Sul

Caso	RSPfinal		Caso	RSPfinal		Caso	RSPfinal	
	(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)
S01	204	-494	S05	423	-1031	S09	576	-1413
		-290			-608			-837
S02	58	-132	S06	157	-364	S10	264	-614
		-75			-208			-349
S03	25	-60	S07	70	-163	S11	102	-241
		-35			-94			-138
S04	11	-31	S08	25	-72	S12	21	-63
		-21			-47			-42

Para cada tamanho de janela, os casos com dispositivos de controle solar cód. Sv50 apresentam o valor RSPfinal menos inconveniente. Embora estes casos se destaquem por serem os que mais reduzem as Radiações Solares Diretas Ponderadas Convenientes (+RSP) também são os que mais reduzem as Radiações Solares Diretas Ponderadas Inconvenientes (-RSP). Já os casos desprovidos de dispositivos de sombreamento apresentam os balanços de Radiações Solares Ponderadas mais inconvenientes.

Integração

A Figura 41 mostra o Diagrama de Integração das variáveis dos casos orientados ao Sul. Devido à proximidade dos valores RSPfinais dos casos avaliados nesta orientação, foi modificada a escala no eixo “y”.

O Diagrama revela que o caso com a maior média UDI-útil (S09), também possui o balanço de Radiações Solares Diretas Ponderadas menos favorável, enquanto que os casos com os valores RSPfinais menos inconvenientes (S03 e S04) exibem as menores médias UDI-útil. Portanto, dentre os casos que mantêm um equilíbrio entre as duas variáveis destacam-se S07, S08, S11 e S12.

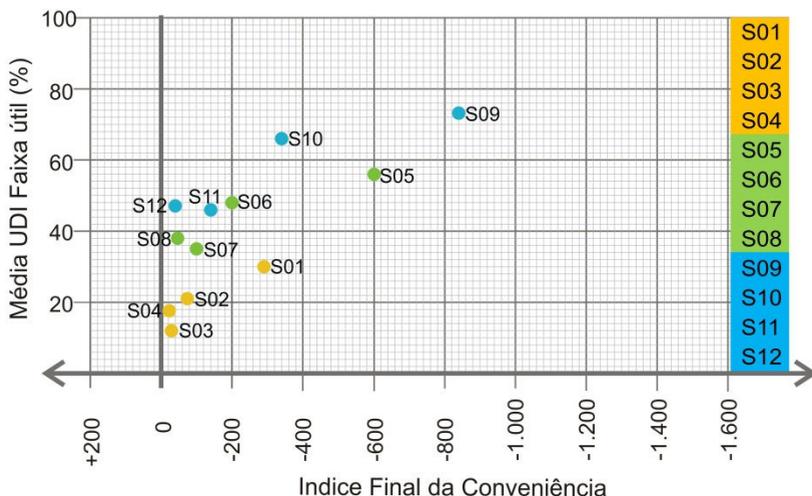


Figura 41 - Diagrama de Integração das Variáveis. Sul

4.1.6 Fachada Sudoeste Luz Natural

A Tabela 24 e as Figuras 42 e 43 contêm os resultados das estimativas luminosas realizadas sobre os doze casos com fachada orientada ao Sudoeste.

Tabela 24 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Sudoeste

		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.
Média		67.62	32.14	0.25		42.52	56.86	0.63		27.09	71.99	0.93
Desvio Padrão	SO01	30.09	29.66	1.12	SO05	26.91	26.23	1.87	SO09	14.78	13.80	2.81
Média		77.96	22.05	0.00		50.45	49.55	0.01		34.10	65.81	0.11
Desvio Padrão	SO02	28.17	28.17	0.00	SO06	29.96	29.94	0.16	SO10	18.82	18.69	0.47
Média		86.24	13.77	0.00		62.01	38.00	0.00		49.78	50.23	0.00
Desvio Padrão	SO03	23.11	23.11	0.00	SO07	33.24	33.23	0.05	SO11	29.57	29.57	0.08
Média		81.33	18.62	0.05		58.28	41.61	0.13		49.28	50.54	0.18
Desvio Padrão	SO04	25.64	25.53	0.35	SO08	30.98	30.81	0.57	SO12	28.16	27.91	0.69

Dentre os doze casos avaliados, aqueles de PAF 27,7% exibem as menores médias UDI-útil, as menores médias UDI-excessiva e as maiores médias UDI-insuficiente. A Figura 42 revela essa situação graficamente: as grandes áreas em branco e as pequenas áreas em verde escuro dos casos SO01, SO02, SO03 e SO04 indicam pouca suficiência luminosa ao longo de ano. Para maior precisão, a Figura 43 complementa esta

informação. Nesta Figura, o tamanho das barras de gama laranja é muito maior no primeiro intervalo (0_10) do que nos outros. Isso indica que a maior porção das áreas do plano de trabalho, dos casos com janela menor, permanece com um nível luminoso compreendido na faixa UDI-útil apenas entre 0% e 10% do tempo ao ano. As áreas do plano de trabalho que permanecem sob estas condições são: 40,3% no caso SO01, 55,8% no caso SO02, 69,4% no caso SO03 e 58,3% no caso SO04.

A interferência do tamanho da abertura é tal que, nem o caso com as condições luminosas mais favoráveis dentre os que possuem janela pequena, revela melhores condições do que o pior dos casos com janelas maiores. Se comparado o caso SO01 com o SO07, nota-se que este último, apesar de possuir dispositivo de sombreamento externo, possui maior média UDI-útil, e menores médias UDI-insuficiente e UDI-excessiva. No entanto, produto da dispersão dos dados, o caso SO07 torna evidente um desvio padrão UDI-útil maior. Referente à dispersão, a Figura 43 mostra que 67,1% da área do plano de trabalho do caso SO01 permanece com níveis luminosos UDI-útil durante menos de 50% do tempo ao ano, enquanto que 58,9% da área do plano de trabalho do caso SO07 apresenta semelhantes condições luminosas durante o mesmo tempo.

Dos casos restantes com janela de PAF 55,5% destaca-se o SO05, já que apresenta uma média UDI-útil maior, uma média UDI-insuficiente menor e um desvio padrão UDI-útil menor do que os casos SO11 e SO12 que possuem janela maior. Graficamente, na Figura 42, nota-se esta diferença principalmente no fundo do ambiente de estudo: o caso SO05 possui áreas, limitadas por linhas isoUDI-útil de valor 20, menores do que os casos SO11 e SO12. Tendo em vista complementar esta informação, a Figura 43 torna claro que 10,2% da área do plano de trabalho do caso SO05 possui valores UDI-útil entre 0% e 20%, enquanto que os casos S11 e S12 possuem 29% e 25,6% da área do plano de trabalho, respectivamente, nesse mesmo intervalo.

Em geral, apesar de apresentar a maior média UDI-excessiva, destaca-se o caso SO09, já que possui a maior média UDI-útil, a menor média UDI-insuficiente e o menor desvio padrão UDI-útil.

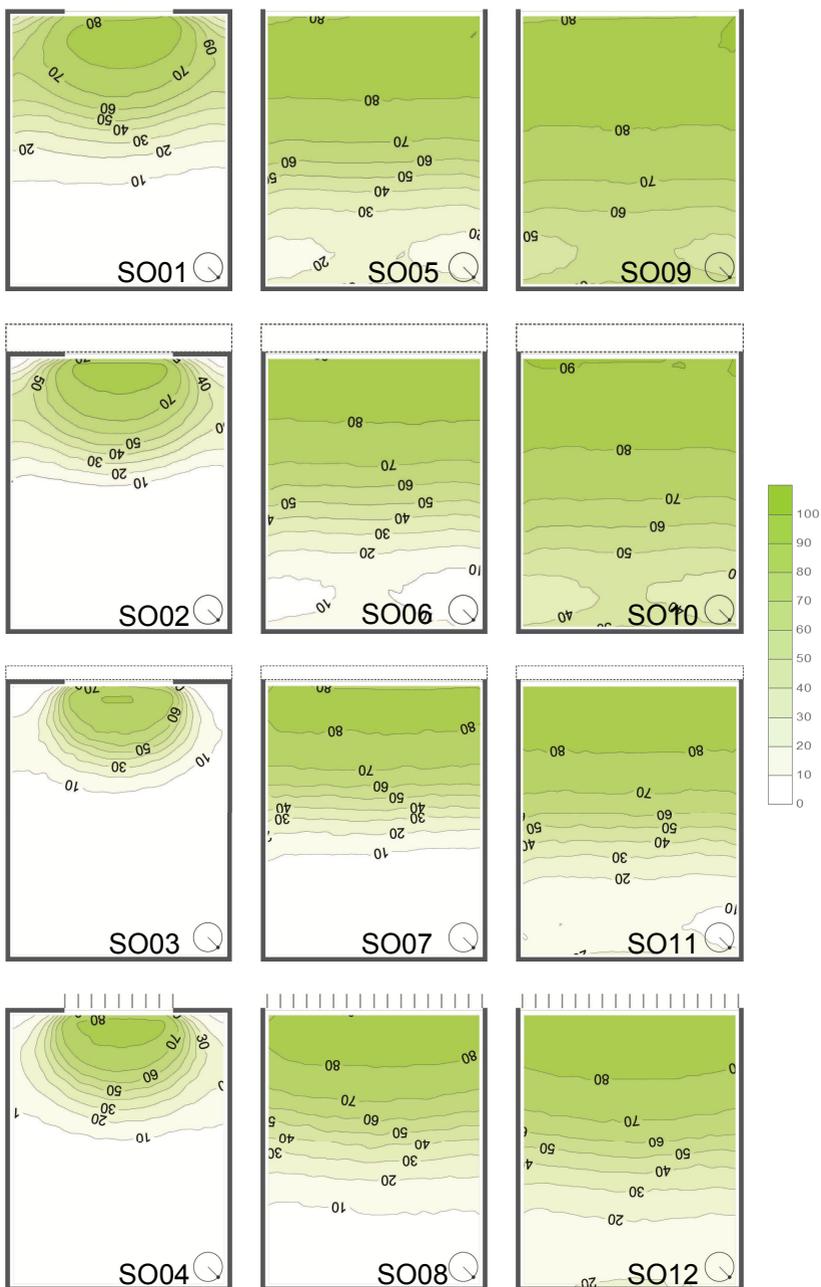


Figura 42 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada SO.

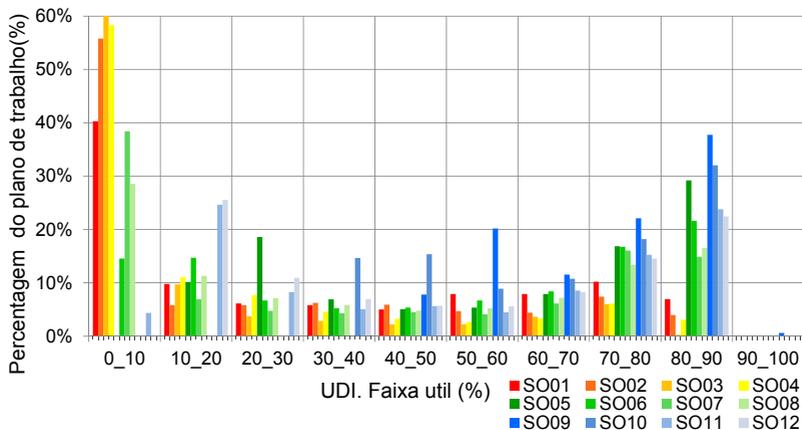


Figura 43 - DAU. Fachada Sudoeste

Adicionalmente, entre todos os casos avaliados, o SO09 é o que apresenta a maior área do plano de trabalho entre os intervalos 80_90, 70_80, 60_70 e 50_60. Por outro lado, o caso SO09 é o único que possui 0% da área do plano de trabalho com níveis luminosos dentro da faixa UDI-útil durante menos de 40% do tempo ao ano.

Para cada tamanho de janela, os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sh50 se diferenciam dos demais por exibirem as menores médias UDI-útil e as maiores médias UDI-insuficiente. No entanto, todos estes casos apresentam uma média UDI-excessiva equivalente a 0,0%.

Não obstante, quanto maior o tamanho da janela, menor a diferença dos resultados entre os casos com dispositivos de sombreamento cód. Sh50 e cód. Sv50. Tanto na Tabela 24 como nas Figuras 42 e 43, constatam-se apenas sutis diferenças entre estes dois tipos de casos.

Conveniência Solar

O DDC de um ambiente típico de escritórios orientado ao Sudoeste e localizado na cidade de Florianópolis mostra predominância de valores inferiores a -600 e poucos valores +RSP, todos inferiores a 50 (ver apêndice 8.4.6). Portanto, sob o ponto de vista da Conveniência Solar, resulta mais adequado implementar dispositivos de controle solar que impeçam o

ingresso de raios solares desde setembro até maio durante a tarde inteira.

Os doze DRCs, construídos a partir das considerações implementadas no método de Conveniência proposto, encontram-se detalhados no apêndice 8.5.6. A Tabela 25 contém o resumo dos valores $-RSP_{\text{finais}}$, $+RSP_{\text{finais}}$ e RSP_{finais} descritos nos DRCs.

Tabela 25 - Resumo RSP admitidas. Fachada Sudoeste

Caso	RSP_{final}			RSP_{final}			RSP_{final}	
	(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)
SO01	31	-6361	SO05	62	-12786	SO09	83	-17348
		-6331			-12724			-17265
SO02	22	-2527	SO06	46	-5540	SO10	67	-9139
		-2506			-5494			-9071
SO03	16	-1396	SO07	33	-2829	SO11	44	-3617
		-1380			-2796			-3573
SO04	1	-1284	SO08	3	-2615	SO12	5	-3371
		-1282			-2612			-3366

Como é de se esperar, perante um DDC com predominância de $-RSP$, os casos desprovidos de dispositivos de sombreamento exibem os balanços de radiações solares diretas ponderadas mais inconvenientes: os casos SO01, SO05 e SO09 apresentam os menores RSP_{finais} .

Dos casos restantes, sobressaem as pequenas diferenças entre os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sh50 e os casos com cód. Sv50: os casos SO04, SO08 e SO12 reduzem mais o ingresso de radiações solares quando conveniente e quando inconveniente do que os casos SO03, SO07 e SO11 respectivamente. Não obstante, os valores de RSP_{final} obtidos entre estes dois tipos de casos são muito semelhantes.

Integração

A Figura 44 mostra o resultado da integração das variáveis estudadas no modelo orientado ao Sudoeste. Percebe-se que os casos SO05, SO09 e SO10, apesar de exibirem os melhores desempenhos sob o ponto de vista da métrica luminosa utilizada, também apresentam os piores desempenhos sob o ponto de vista da Conveniência Solar. Enquanto que os casos SO02, SO03 e SO04 apresentam os melhores desempenhos do ponto de vista da Conveniência Solar e as médias UDI-útil mais baixas.

Nesse sentido, dentre os casos restantes destaca-se o SO12 já que, apesar de apresentar um valor RSPfinal muito parecido com os casos SO08 e SO07, possui média UDI-útil mais favorável. Simultaneamente, o valor dessa média é parecido com o dos casos SO11 e SO06, mas o RSPfinal do caso SO12 é menos inconveniente do que o destes últimos.

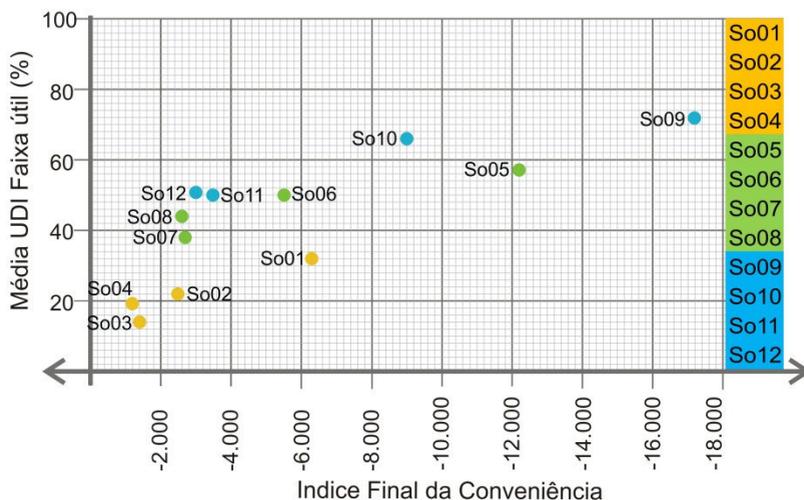


Figura 44 - Diagrama de Integração das Variáveis. Sudoeste

4.1.7 Fachada Oeste

Luz Natural

Os resultados das simulações luminosas do ambiente com Fachada Oeste são mostrados de forma gráfica e analítica através da Tabela 26 e das Figuras 45 e 46.

A Tabela 26 mostra que dentre os 4 casos de janela menor, o desprovido de dispositivos de sombreamento (O01) apresenta a maior média UDI-útil, 11,8 pontos percentuais mais alta do que a seguinte em ordem decrescente de magnitude (O02). Além disso, este caso apresenta a menor média UDI-insuficiente, a qual é 12,71 pontos percentuais mais baixa do que a do caso O02, seguinte em ordem crescente de magnitude. Contudo, no grupo de casos com tamanho de janela menor, verificam-se apenas pequenas diferenças entre as médias dos casos com dispositivos cód. Sv50 (O04) e cód. Svv (O02). Já o caso O03,

apesar de possuir a menor média UDI-excessiva apresenta a menor média UDI-útil e a maior média UDI-insuficiente.

Porém, na medida em que aumenta o tamanho da janela, as diferenças entre os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sdg e Sv e entre os casos com dispositivos de sombreamento cód. Sv50 e Sh50 tendem a diminuir. Já nos casos com janela maior, as diferenças entre o O09 e o O10 é de 3 pontos percentuais na média UDI-útil e de 5,66 na média UDI-insuficiente. Entre os casos O11 e O12 as diferenças são de 1,68 pontos percentuais na média útil e 3 na média insuficiente. Por outro lado, as diferenças entre os casos com dispositivos cód. Sv e Sv50 tendem a aumentar conforme aumenta o PAF: entre as médias UDI-útil dos casos O02 e O04 existe uma diferença de apenas 1,14 pontos percentuais, mas entre o caso O06 e o O08 e entre o O10 e o O12 essa diferença aumenta a 4,94 e 10,76 respectivamente.

Tabela 26 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Oeste

		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.
Média	O01	58.93	40.01	1.07	O05	37.64	59.84	2.53	O09	26.34	69.96	3.70
Desvio Padrão		25.51	23.89	3.34		21.61	19.09	5.60		13.70	11.02	7.98
Média	O02	71.64	28.20	0.17	O06	45.82	53.65	0.51	O10	31.99	66.94	1.09
Desvio Padrão		27.57	27.24	0.77		25.92	25.30	1.46		16.43	15.23	3.07
Média	O03	79.16	20.83	0.02	O07	56.22	43.67	0.10	O11	45.18	54.50	0.33
Desvio Padrão		23.65	23.61	0.15		28.36	28.20	0.38		24.52	24.11	0.98
Média	O04	72.52	27.06	0.43	O08	50.19	48.71	1.11	O12	42.24	56.18	1.60
Desvio Padrão		25.13	24.27	1.52		25.19	23.75	2.64		22.03	20.09	3.74

Adicionalmente, a Figura 45 ilustra os gráficos com curvas isoUDI-útil dos doze casos e a Figura 46 a distribuição da área do plano de trabalho desses casos, em grupos de 10% de amplitude, de acordo com o tempo de permanência na faixa UDI-útil. Se comparados os casos O05 e O09 com os casos O06 e O10 respectivamente, nota-se que a zona próxima à janela apresenta uma redução dos valores UDI-útil. Esse decréscimo se deve à penetração solar que aumenta a iluminância nos pontos atingidos, e, conseqüentemente, aumenta os valores UDI-excessivo.

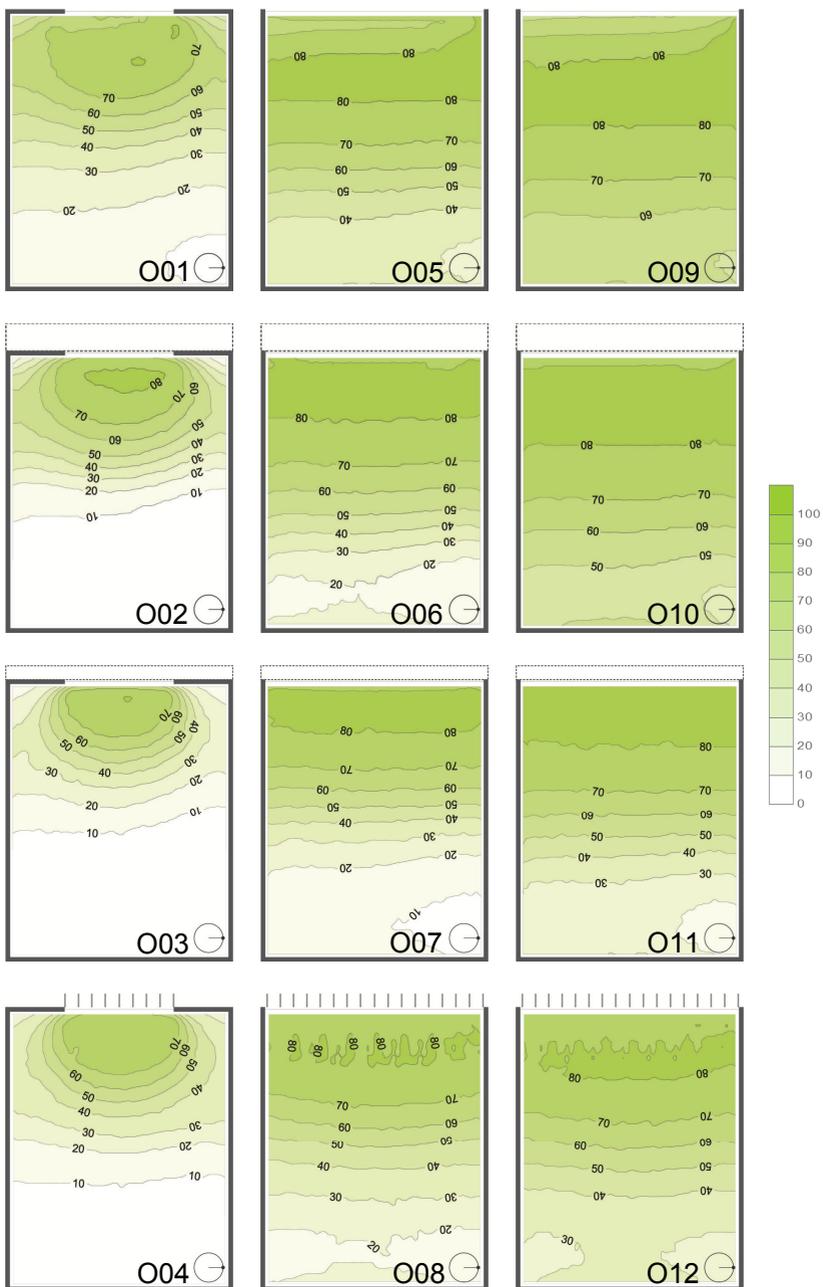


Figura 45 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Oeste.

Além do mais, a Figura 46 mostra que os casos O06 e O10 têm maior área com valores UDI-útil superiores a 80% (19% e 26,6% respectivamente) do que os casos O05 e O09 (15,5% e 23,9% respectivamente). Porém, o restante da área do plano de trabalho do caso O09 possui valores UDI-útil superiores a 50% enquanto que o caso O10 ainda tem 23,5% da área do plano de trabalho com valores UDI-útil inferiores a 50%. Uma situação semelhante acontece entre os casos O05 e O06: enquanto que o primeiro apresenta apenas 4% da área do plano de trabalho com valores UDI-útil, o segundo apresenta 29,3% da sua área com essas condições luminosas.

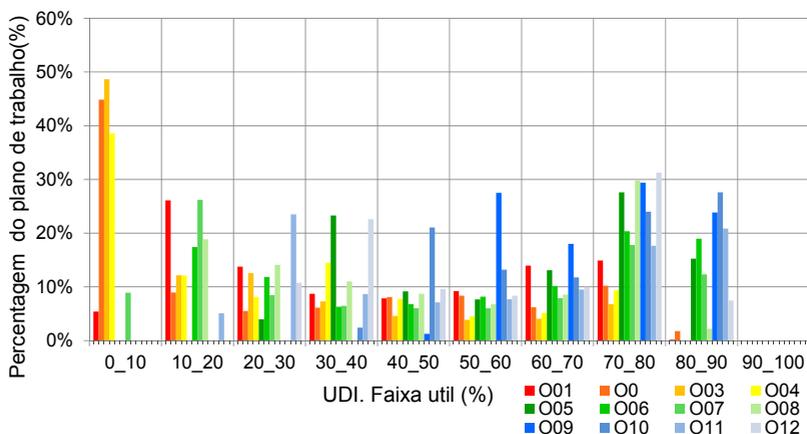


Figura 46 - DAU. Fachada Oeste

Embora valores estatísticos muito parecidos entre os casos O11 e O12 fiquem nítidos na Tabela 26, as Figuras 45 e 46 delineiam algumas diferenças: enquanto que, do ponto de vista luminoso, o caso O11 apresenta melhores condições na zona próxima à janela, o caso O12 apresenta valores UDI-útil maiores no fundo do ambiente. No caso O12, 7,5% da área do plano de trabalho possui uma forma atípica, com valores UDI-útil superiores a 80%, produto da penetração solar que aumenta os valores UDI-excessivos. Entretanto, o caso O11 traz consigo 20,9% da área do plano de trabalho valores UDI-útil superiores a 80%. Já no fundo dos ambientes, o caso O11 exibe 28,6% da área do plano de trabalho com valores UDI-útil inferiores a 30%

contra 10,9% da área do plano de trabalho do caso O12 com valores UDI-útil também inferiores a 30%.

Essas diferenças na zona próxima à janela e no fundo do local entre casos com PAF 74% e com dispositivos de controle solar cód. Sh50 e Sv50 também ocorrem entre os casos com PAF 55,5% e mesmos dispositivos de sombreamento. O caso O07 tem 12,3% da área do plano de trabalho com valores UDI-útil acima de 80%, enquanto que o caso O08 apresenta apenas 2% da sua área com similares valores UDI-útil. Porém, a área do plano de trabalho com valores UDI-útil dentro do intervalo 70_80 é significativamente maior no caso O08 do que no O07 (29,8% e 17,8% respectivamente). Já no fundo dos ambientes, o caso O07 apresenta 35% da sua área com valores UDI-útil entre 0% e 20%, enquanto que o caso O08 apresenta 33% da sua área com valores UDI-útil entre 10% e 30%.

Os casos com janela menor apresentam grandes áreas com valores UDI-útil baixos. Valores UDI-útil superiores a 50% são constatados em áreas do plano de trabalho equivalentes a 38,2% no caso O01, 26,5% no caso O02, 14,75% no caso O03 e 19% no caso O04. Nos 3 últimos casos essas percentagens da área de trabalho são menores do que as que apresentam valores UDI-útil inferiores a 10%. (44,5% no caso O02, 26,5% no caso O03, 19% no caso O04).

Conveniência Solar

Devido à magnitude da inconveniência da penetração dos raios solares em ambientes de escritórios orientados ao Oeste entre novembro e abril, dentre os DDCs colocados no apêndice, o correspondente à Fachada Oeste apresenta o menor valor RSPfinal. Por tal motivo, sob o ponto de vista da Conveniência Solar, é fundamental implementar dispositivos de controle solar que evitem, ou reduzam ao máximo, a penetração solar durante a época do ano referenciada.

Os DRC dos casos orientados ao Oeste encontram-se no apêndice 8.5.7. A Tabela 27 mostra o resumo dos DRC de ambientes com esta orientação. A Tabela mostra que, do ponto de vista da Conveniência Solar, para cada tamanho de janela o dispositivo de controle solar mais eficiente é o cód. Sh50: nos casos com janela de PAF 27,7% o caso O03 apresenta um RSPfinal equivalente a -2929, 2416 pontos maior do que o RSPfinal do caso O02, segundo posicionado de acordo com a

Conveniência Solar. A diferença do RSPfinal entre os casos tende a aumentar na medida em que aumenta o tamanho da janela: entre os casos O07 e O06 é de 4978 e entre os casos O11 e O10 é de 10029.

Tabela 27 - Resumo RSP admitidas. Fachada Oeste

Caso	RSPfinal		Caso	RSPfinal		Caso	RSPfinal	
	(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)
O01	160	-11598	O05	326	-23297	O09	439	-31427
		-11438			-22971			-30988
O02	77	-5345	O06	166	-10962	O10	240	-18018
		-5268			-10796			-17778
O03	60	-2989	O07	124	-5942	O11	154	-7989
		-2929			-5818			-7835
O04	53	-7920	O08	109	-15840	O12	139	-19956
		-7867			-15730			-19817

Integração

A Figura 47 ilustra o Diagrama de Integração das Variáveis dos casos avaliados na fachada Oeste. Devido à magnitude dos valores RSPfinal, foram excluídos do diagrama os casos O05, O09 e O12.

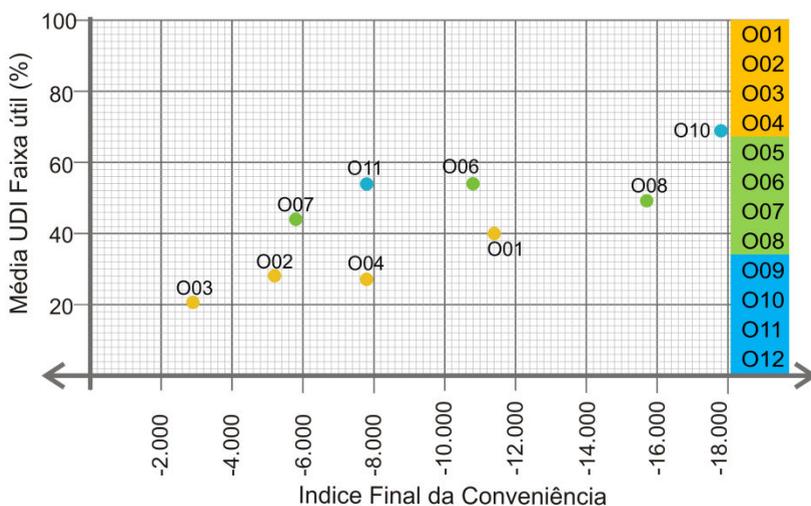


Figura 47 - Diagrama de Integração das Variáveis. Oeste

Nota: visando facilitar a visualização e comparação dos resultados, no gráfico não foi incluída a localização dos casos O05 ($x=-22.971$; $y=60$), O09 ($x=-30.988$; $y=70$), O12 ($x=-19.817$; $y=56$),

Dos casos avaliados para cada tamanho de janela, os de dispositivo de sombreamento cód. Sh50 apresentam o balanço das Radiações Solares Diretas Ponderadas menos inconvenientes (O03, O07, 011). Contudo, estes casos também exibem as menores médias UDI-útil. Já nos casos desprovidos de dispositivos de sombreamento são verificados as maiores médias UDI-útil e os menores valores RSPfinal.

Dos casos avaliados, o O07 apresenta as condições integradas menos desfavoráveis. Porém, para conseguir melhores desempenhos nesta orientação, do ponto de vista integrado, faz-se necessário o estudo de mais opções de fachadas.

4.1.8 Fachada Noroeste Luz Natural

A Tabela 28 ilustra, dos doze casos com fachada orientada ao Noroeste, as médias UDI-útil, UDI-insuficiente e UDI-excessiva e os desvios-padrão UDI-útil estimados a partir dos dados obtidos em cada ponto da malha de cálculo. Além disso a Figura 48 mostra os gráficos com curvas isoUDI-útil e a Figura 49 exhibe a distribuição da área de plano de trabalho em grupos de 10% de amplitude, de acordo com o tempo de permanência na faixa UDI-útil.

Tabela 28 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (σ). Casos Noroeste

		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.		Insuf.	Útil.	Exces.
Média	NO01	50.90	47.39	1.74	NO05	31.95	64.04	4.00	NO09	23.27	71.06	5.68
Desvio Padrão		21.43	19.02	4.96		16.40	12.77	7.78		10.79	8.22	10.63
Média	NO02	66.81	32.82	0.37	NO06	39.84	59.15	0.98	NO10	28.33	69.63	2.03
Desvio Padrão		26.26	25.59	1.31		20.31	19.13	2.28		12.90	10.70	4.66
Média	NO03	74.30	25.59	0.12	NO07	49.10	50.47	0.43	NO11	39.12	59.97	0.91
Desvio Padrão		23.42	23.20	0.45		24.27	23.73	1.04		19.60	18.50	1.93
Média	NO04	64.95	34.16	0.89	NO08	43.03	54.48	2.50	NO12	36.82	59.55	3.63
Desvio Padrão		23.30	21.71	2.68		19.97	16.96	4.80		17.56	13.67	7.09

Nos casos de PAF 27,7% faz-se mais evidente a interferência dos dispositivos de sombreamento externos na iluminação natural: o caso NO01 contém as maiores médias UDI-útil e UDI-excessiva, a menor média UDI-insuficiente e o menor desvio padrão UDI-útil.

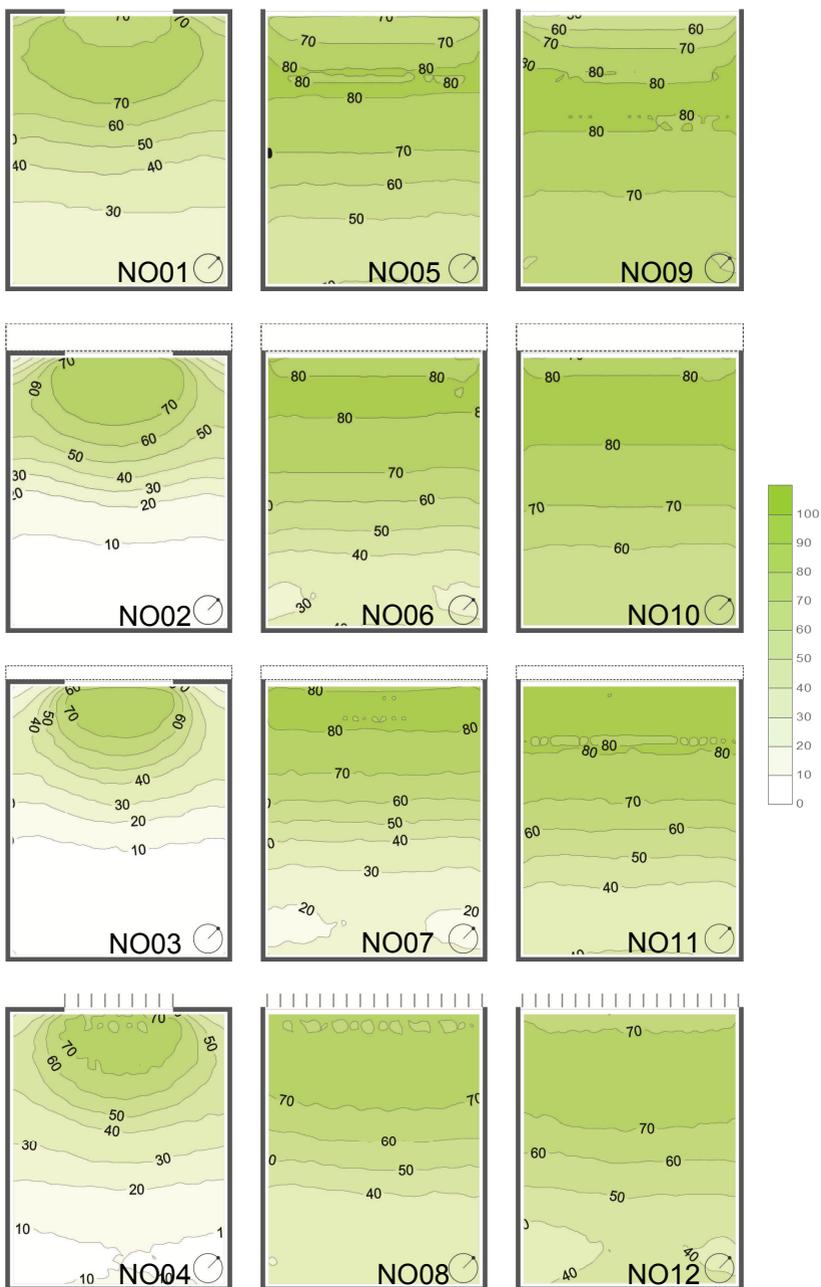


Figura 48 - Gráficos com curvas isoUDI-útil. Fachada NO.

Graficamente, se comparados os casos NO01, NO02, NO03 e NO04, nota-se que o primeiro caso apresenta a totalidade da sua área colorida enquanto os outros três casos apresentam parte da sua área branca. Nesse sentido, a Figura 49 indica que porções da área do plano de trabalho equivalente a 33,8% no caso SO02, 41,9% no caso SO03 e 17,8% no caso SO04 possuem valores UDI-útil inferiores a 10%. Desses três casos, o NO03 (dispositivo de controle solar cód. Sh50) apresenta as menores médias UDI-útil e UDI-excessiva e a maior média UDI-insuficiente. Já, apesar da diferença da porção de área do plano de trabalho que possui valores UDI-útil entre 0% e 10%, os casos NO02 e NO04 apresentam médias muito parecidas, com menos de 2 pontos percentuais de diferença entre elas.

Nos casos de PAF 74,4%, a interferência dos dispositivos de sombreamento faz-se evidente não apenas com valores UDI-útil pequenos no fundo do ambiente mas também com a redução dos valores UDI-útil na zona adjacente à janela dos casos desprovidos de dispositivos de sombreamento. A Figura 48 ilustra essa situação nos casos NO05 e NO09. Devido à penetração solar, nesses casos, a redução é proporcional ao aumento dos valores UDI-excessivo. Como complemento, a Figura 49 exibe que os casos N06 e N07 possuem uma percentagem de área maior no intervalo UDI-útil 80_90 do que o caso NO05 e que os casos N10 e N11 possuem também maior área do plano de trabalho dentro desse intervalo do que o N09.

Por outro lado, a pequena taxa de variação da média UDI-útil conforme aumenta o tamanho de janela entre os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sv50, gera um aumento da diferença entre estes e os casos com dispositivo de sombreamento cód. Svv: entre as médias UDI-útil dos casos NO10 e NO12 existe uma diferença superior a 10 pontos percentuais. Como consequência, a média UDI-útil deste último caso fica muito próxima à média do caso NO11. Contudo, as diferenças entre os desvios-padrão indicam grandes diferenças na distribuição. Na Figura 49 podem ser observadas essas diferenças: o caso NO11 apresenta a zona próxima à janela com valores UDI-útil superiores a 80% (16,8% da área do plano de trabalho) e a zona do fundo do ambiente com valores UDI-útil inferiores a 40% (26,6% da área do plano de trabalho). Já o caso NO12 não apresenta nenhuma porção da sua área com valores

superiores a 80% e apenas 10,5% com valores UDI-útil inferiores a 40%.

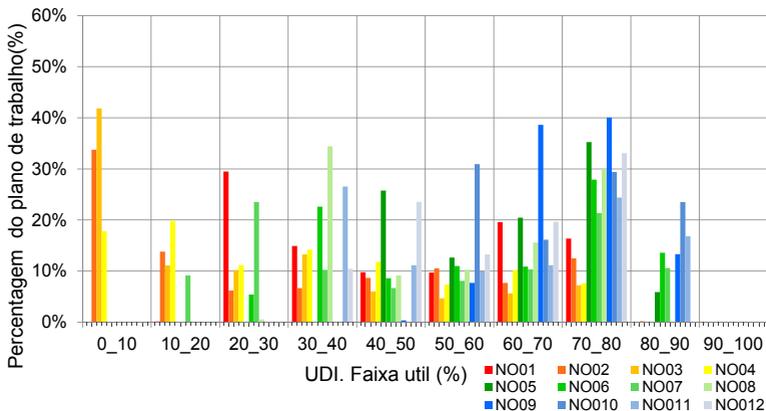


Figura 49 - DAU. Fachada Noroeste

Conveniência Solar

Já que dentre os valores RSP colocados no Diagrama Diagnóstico de Conveniência da fachada Noroeste (ver apêndice 8.4.8) predominam os -RSP, vários deles menores de -1000, e dos poucos +RSP nenhum é superior a +300, o valor RSPfinal deste Diagrama é altamente inconveniente. Para incrementar a eficiência dos dispositivos externos de controle solar de fachadas de ambientes de escritórios orientados ao Noroeste faz-se necessário evitar o ingresso de raios solares entre maio e setembro e possibilitá-lo entre junho e agosto.

Os DRC dos casos orientados ao Noroeste encontram-se no apêndice 8.5.8. A Tabela 29 mostra o resumo dos DRC de ambientes com esta orientação.

Tabela 29 - Resumo RSP admitidas. Fachada Noroeste

Caso	RSPfinal		Caso	RSPfinal		Caso	RSPfinal	
	(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)		(+RSP)	(-RSP)
NO01	536	-10587	NO05	1081	-21307	NO09	1468	-28749
		-10051			-20226			-27280
NO02	142	-3555	NO06	328	-7639	NO10	611	-13603
		-3413			-7312			-12992
NO03	67	-1614	NO07	141	-3377	NO11	192	-4612
		-1547			-3236			-4420
NO04	216	-4404	NO08	434	-8755	NO12	512	-11141
		-4189			-8321			-10629

A Tabela indica que, para cada tamanho de janela, os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sh50 possuem os balanços de Radiações Solares Diretas Ponderadas menos inconvenientes: no caso NO03 esse valor é -1547, no NO07 é -3236 e no NO11 é -4420. Cada um desses valores representa menos da metade dos valores RSPfinal de qualquer um dos casos restantes com similar tamanho de janela.

Integração

A Figura 50 expõe o Diagrama de Integração das Variáveis dos casos avaliados na Fachada Oeste. Devido à magnitude dos valores RSPfinal, o caso NO09 foi excluído do Diagrama.

A Figura 50 mostra que, embora o caso NO03 possua as condições menos inconvenientes de incidência solar, também apresenta a menor média UDI-útil dos casos avaliados. A maior média UDI-útil a possui o caso NO10. Contudo, este caso também apresenta as condições mais inconvenientes de incidência solar.

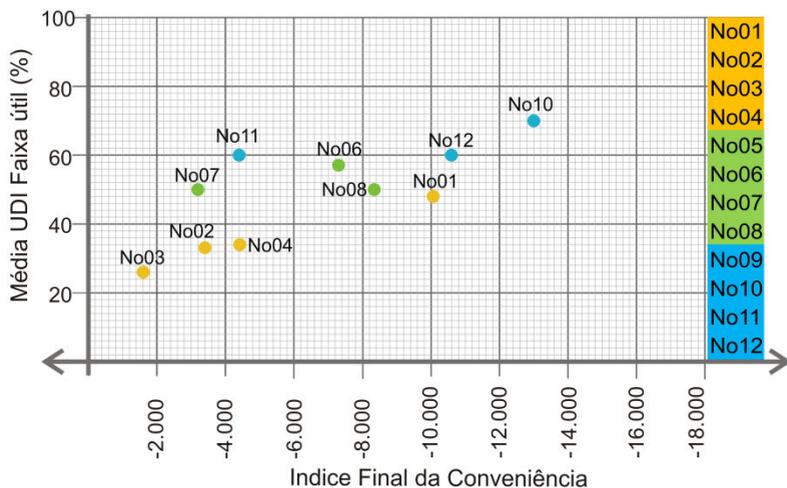


Figura 50 - Diagrama de Integração das Variáveis. Noroeste

Nota: visando facilitar a visualização e comparação dos resultados, no gráfico não foi incluída a localização do caso No09 ($x=-27.780$; $y=71$)

Dos casos restantes destacam-se o NO07 e o NO11. O primeiro apesar de possuir uma média UDI-útil parecida com a

dos casos NO08 e NO01, do ponto de vista da Conveniência Solar, apresenta um desempenho notavelmente melhor do que estes casos. Já o caso NO11 apresenta uma média UDI-útil de aproximadamente 60%. Os casos NO06 e NO12 apresentam médias UDI-útil muito parecidas a média UDI-útil do caso N11. Porém, o RSPfinal desse último é claramente menos inconveniente do que estes outros casos.

4.2 Etapa 2

Com o objetivo de analisar de forma simultânea o desempenho combinado, na luz natural e na Conveniência Solar, dos 96 casos, os resultados exibidos nos Diagramas de Integração das Variáveis apresentados na Etapa 1 foram trasladados a um único Diagrama de Integração Final. Porém, visando obter uma melhor visualização dos resultados várias alterações foram implementadas:

- O diagrama foi girado -90° . O eixo “x” passou a conter as médias das percentagens de horas avaliadas que o nível luminoso encontra-se na faixa útil e o eixo “y” os valores RSPfinal. Portanto, com essa nova distribuição de eixos, as áreas que indicam a melhor valoração dos sistemas de fachadas passam da zona superior esquerda à zona superior direita.

- O ícone que identifica cada caso colocado no plano cartesiano passou de ser um círculo, com o nome de identificação, a um simples triângulo obtusângulo. Contudo, a **rotação** e a **cor** de cada triângulo indicam a orientação e o número de caso (de 01 a 12). Da orientação, assumiu-se que o Norte do Diagrama estaria no sentido positivo do eixo “y” e estabeleceu-se que o vértice obtuso de cada triângulo apontaria à orientação representada. Já das cores, a gama para identificar mais facilmente a distribuição dos casos segundo o tamanho da janela manteve-se. Porém, a fim de facilitar a identificação dos casos também pelo dispositivo de sombreamento, as intensidades das cores variaram. Nos casos com janela menor, por exemplo, continuou-se usando a gama laranja, sendo a cor mais escura para o caso 01 e mais clara para o caso 04. A Figura 51 mostra o Diagrama de Integração Final.

A **orientação**, o **tamanho das janelas** e os **dispositivos de controle solar** influenciam significativamente no desempenho luminoso dos ambientes e na conveniência da incidência solar. Devido ao fato de que o método de Conveniência Solar valora os

sistemas de fachadas de acordo com a disponibilidade solar na abóbada celeste onde orientadas, os valores RSPfinal de casos com mesmo sistema de fachada mas diferente **orientação**, variam significativamente. Os doze casos apresentaram os valores RSPfinal mas convenientes quando orientados ao Leste e os mais inconvenientes quando orientados ao Oeste.

Do mesmo modo, sabendo-se que o nível luminoso varia também em função da incidência dos raios solares nas superfícies externas e nas internas, casos com mesmo sistema de fachada e **orientações** diferentes, apresentam valores UDI-útil e UDI-excessivo desiguais. Onze dos casos estudados apresentaram a menor média UDI-útil na orientação Sul. Apenas o caso 09 (janela maior desprovida de dispositivo de sombreamento) apresentou a menor média UDI-útil quando orientado ao Oeste. Já em todos os casos as maiores médias UDI-útil foram registradas na orientação Nordeste.

Do **tamanho da janela**, a Figura 51 mostra que as médias UDI-útil registradas nos ambientes de janela menor (gama laranja) variam entre 12% e 54%, as dos ambientes de PAF 55,5% (gama verde) entre 35% e 73% e as dos ambientes de PAF 74% (gama azul) entre 46% e 80%. Adicionalmente, a Figura 51 mostra que os valores RSPfinal registrados nos casos de PAF 27,7% variam entre -11438 e 3065, os dos casos de PAF 55,5% entre -22971 e 6224 e os dos casos de PAF 74% entre -30988 e 8255.

Referente aos tipos de **dispositivo de controle solar**, observa-se que o grau de interferência na iluminação natural varia também em função do **tamanho da abertura** na fachada: em todas as orientações, os resultados luminosos dos casos de PAFs 27,7% e 55,5% apontam que os que possuem dispositivo de sombreamento cód. Sh50, apresentam as menores médias UDI-útil. Já nos casos de PAF 74% os que possuem dispositivos de sombreamento cód. Sh50 e Sv50 apresentam as menores médias UDI-úteis, com valores muito parecidos entre eles. Do mesmo modo, para todas as orientações dos casos com PAFs 55,5% e 74%, dentre os casos com dispositivo de controle solar os que possuem o marcado com o cód. Svv apresentam as maiores médias UDI-útil. Porém, nas Fachadas Norte e Noroeste dos casos de janela 27,7% os casos que apresentam as maiores médias UDI-útil são os identificados com o cód. Sh50.

Já da **Conveniência Solar**, observa-se que, independente do tamanho de janela, cada uma das quatro opções de sombreamento apresentam o balanço de Radiações Solares Diretas Ponderadas (RSPfinal) mais conveniente em duas orientações. Assim, nas orientações Norte e Nordeste os casos com dispositivo cod. SvV apresentaram as condições de penetração solar mais convenientes. No Leste e no Sudeste resultou mais adequada a ausência de dispositivos de sombreamento. Nas orientações Sul e Sudoeste, os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sv50 possuem os valores RSPfinal menos inconvenientes. Finalmente, dos casos orientados ao Oeste e ao Noroeste os que possuem dispositivos de sombreamento cód. cód. Sh50 apresentam os valores RSPfinal mais adequados.

Quando analisados os resultados segundo o desempenho de cada opção de fachada em todas as orientações verificam-se grandes diferenças. Para uma melhor visualização destas diferenças, no apêndice 8.6 são mostrados os Diagramas de Integração das Variáveis de cada uma das doze opções de fachada nas oito orientações.

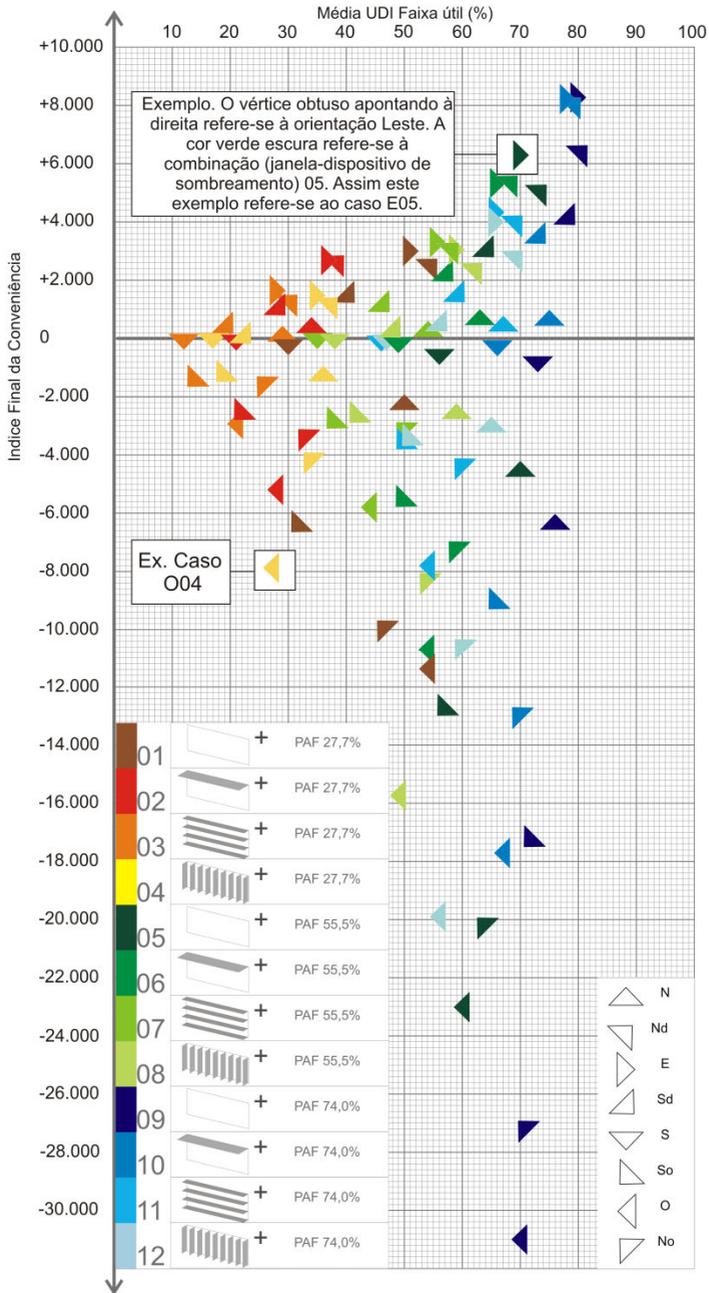


Figura 51 - Diagrama de Integração Final

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA CONVENIÊNCIA SOLAR NO ENSAIO DO MÉTODO DE ANÁLISE INTEGRADA

A fim de complementar o estudo da Conveniência Solar e gerar algumas diretrizes de abordagem para trabalhos futuros, neste capítulo são descritas algumas considerações que foram identificadas no desenvolvimento deste trabalho.

No início são apresentadas as propostas consideradas para complementar o método de Conveniência Solar. Depois é apresentado um método para a verificação da validade do método proposto e, no fim, é apresentada uma proposta para incluir a radiação solar difusa no método.

5.1 Complemento ao método original

Antes da definição do método de Conveniência Solar referido no Capítulo 3, foram testadas várias alternativas para calcular os valores de Radiação Solar Direta Ponderada (*RSP*) a serem colocados nos Diagramas de Conveniência (ver Tabela 30). O objetivo dos testes era encontrar a opção mais apropriada para desenvolver a pesquisa.

Tabela 30 - Teste para o cálculo de *RSP*.

Opção	Equação	
A	$RSP = FP * RSD * (AEJ / ATF)$	
B	$RSP = FP * RSD * (AEJ / Apt)$	
C	$RSP = FP * RSD * (AEJ / Va)$	
D	Diagnóstico	$RSP = FP * RSD * ATF$
	Resultante	$RSP = FP * RSD * AEJ$
E	Diagnóstico	$RSP = FP * ((RSD * ATF * FS) - CI)$
	Resultante	$RSP = FP * ((RSD * AEJ * FS) - CI)$

Apt= Área plano de trabalho. Va=Volume do ambiente.
FS=Fator Solar do Envidraçado. CI= Carga Térmica Interna.

Da Tabela 30, as modificações propostas em todas as opções referem-se à inclusão de variáveis cujo objetivo é contabilizar a área do vidro que permanece exposta à radiação solar direta.

Nas três primeiras opções, essa contabilização é realizada percentualmente, a partir da relação entre a Área de Janela Ensolada (*AEJ*) e o total de área disponível na fachada (*ATF*) na opção A, a área do ambiente avaliado (área do plano de trabalho *APT*) na opção B e o Volume total do ambiente (*Va*) na opção C.

A intenção da inclusão de Área do Plano de Trabalho (*Apt*) e do Volume do ambiente (*Va*), nas opções B e C, foi considerar a interferência do tamanho do ambiente na variação dos valores de RSP, e não outorgar toda a responsabilidade da estimativa de conveniência/inconveniência ao plano da janela. Contudo, nos testes realizados, as equações correspondentes a estas duas opções geraram grandes reduções dos valores RSP, tomando como base a comparação entre os Diagramas Diagnóstico de Conveniência (*DDC*) e os Diagramas Resultantes de Conveniência (*DRC*), fato este que dificulta o estudo comparativo das diferentes opções de fachada. Além disso, concluiu-se que apesar das limitações que o método apresenta com relação ao cálculo da Temperatura Interna, a interferência do tamanho do ambiente já está embutida no seu cálculo.

As modificações propostas na opção D incluem a elaboração de uma equação para o cálculo dos valores RSP dos Diagramas Diagnóstico de Conveniência Solar (*DDC*) e outra para o cálculo dos valores RSP dos Diagramas Resultantes de Conveniência Solar (*DRC*). Na equação de diagnóstico, a variável incluída (*ATF*) representa uma área envidraçada igual à área disponível de fachada, ou seja, uma opção de fachada extrema que serve como ponto de referência para outras opções de fachada propostas. Esta opção sugere ser adequada uma vez que aparentemente permitiria explorar alternativas de inclusão de outras variáveis para não obter resultados adimensionais. Entretanto os testes realizados mostraram que os valores RSP alteravam excessivamente em magnitude. Esta variabilidade de valores poderia dificultar a leitura dos resultados (*Rspfinal*), já que, por exemplo, um valor +RSP muito alto poderia neutralizar todos os valores -RSP e vice-versa.

Já a opção E, que também considera duas equações diferentes para a elaboração dos Diagramas de Conveniência, diagnóstico e resultante, tem como principal objetivo incluir o balanço entre o ganho de energia devido à radiação solar direta e a energia dissipada pelas pessoas e equipamentos interiores, no cálculo das RSP e não na estimativa da Temperatura Interna, tal como explicado no item 3.6.2. (pag. 67). Depois dos testes, esta opção foi considerada inapropriada já que os resultados da sua aplicação poderiam ser incoerentes. Por exemplo, caso o valor de FP fosse negativo (desejo de sombra) e a energia dissipada pela Carga interna maior do que o ganho de energia

solar, o resultado seria um valor +RSP (Radiação Solar Direta Conveniente).

Baseando-se em todas essas considerações, a opção A foi escolhida para desenvolver este trabalho, já que, além da simplicidade e facilidade de uso, das opções testadas é a mais apropriada para os interesses desta pesquisa.

5.2 Uso do método de Conveniência Solar.

A fim de gerar diretrizes para, em trabalhos futuros realizar a validação do Método de Conveniência Solar proposto, neste item é apresentado um ensaio para identificar a validade do uso desse Método e verificar a veracidade dos resultados obtidos após sua aplicação.

No ensaio foi realizada uma comparação dos valores $-RSP_{finais}$ encontrados em 4 dos casos estudados com os resultados do cálculo de consumo energético em sistemas de ar condicionado realizados nos mesmos 4 casos.

Os casos escolhidos correspondem aos marcados com os códigos N05, N06, N07 e N08, ou seja, o ambiente orientado ao Norte, com PAF 55.5% e com as 4 opções de dispositivos de controle solar.

Os cálculos de consumo energético em sistemas de ar condicionado foram realizados através de simulações computacionais no programa *Energy Plus*, no qual foram especificados idênticos horários de ocupação, arquivo climático e cargas internas às do cálculo da Temperatura Ambiente (T_{am}), descritos no item 3.6.2 (pag. 67)

Uma vez que o método de Conveniência Solar proposto limita-se a gerar resultados a partir da informação coletada durante o período do ano no qual é registrada disponibilidade de Sol para cada orientação, as simulações no programa *Energy Plus* foram realizadas para um período do ano, determinado segundo a disponibilidade solar na fachada Norte estimada no programa *Apolux*. O período do ano calculado é mostrado na Figura 52.

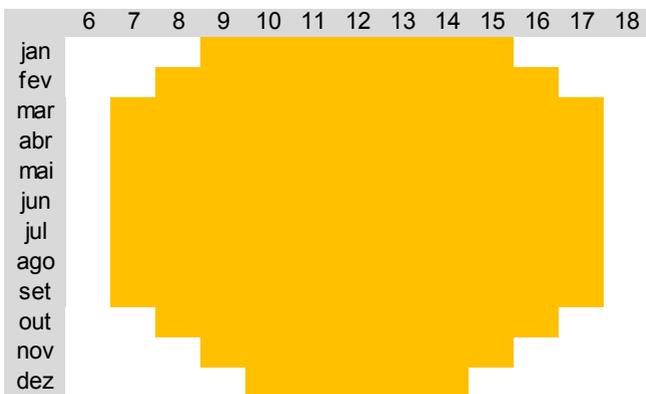


Figura 52 - Período simulações consumo energético

Quanto ao *Set point* do ar condicionado, foram definidos 12 valores distintos, um para cada mês do ano, correspondentes às Temperaturas Neutras (ver apêndice 8.1) calculadas a partir do modelo desenvolvido por Xavier (1999).

Os resultados das simulações indicaram, hora a hora, a carga térmica a ser atendida pelo sistema de ar condicionado (*Ideal Loads Air Total Cooling Rate [W]*). Nos quatro casos escolhidos foram realizadas somatórias dos valores horários encontrados. A fim de verificar se as diferenças na valoração de fachadas - obtidas no método de conveniência - coincidiam com as diferenças no consumo energético - estimadas através de simulações no Energy Plus – para examinar a factibilidade da aplicação do método de Conveniência Solar, os resultados das somatórias realizadas com os valores obtidos nas simulações energéticas foram comparados com os $-RSP_{final}$, obtidos na análise de Conveniência Solar. As comparações foram realizadas através da Tabela 31, a qual mostra o $-RSP_{final}$ correspondente a cada caso avaliado e a somatória das cargas térmicas a serem atendidas pelo sistema de ar condicionado durante o período de tempo pré-determinado.

Tabela 31 - Conveniência Solar vs. Simulações Energéticas

	-RSPfinal	Ideal Loads Air Total Cooling Rate [W]
N05	-9621	16535,9
N06	-1277	13890,4
N07	-264	12996,0
N08	-3853	14967,7

Dos casos mostrados na Tabela, observa-se que o N07 apresenta o maior valor de $-RSP_{final}$, caracterizando-se como menos inconveniente. A ordem de colocação, de menos a mais inconveniente, é seguida pelo N06 e pelo N08. Finalmente, o caso que apresentou o valor $-RSP_{final}$ mais inconveniente é o N05. Organizando os casos, de menor a maior carga térmica a ser atendida pelo sistema de ar condicionado, verifica-se a mesma ordem de colocação. Portanto, apesar das diferenças entre os valores $-RSP$ dos casos estudados não serem proporcionais às diferenças entre as cargas térmicas a serem atendidas, pode-se concluir que, nos casos avaliados, o método oferece uma primeira aproximação acertada da Conveniência da incidência solar.

5.3 Radiação Solar Difusa Ponderada

Nesta pesquisa foi utilizado um Método de Conveniência Solar baseado no desenvolvido por Aroztegui (1980). Porém foi considerada unicamente a Radiação Solar Direta. Visando complementar o Método de Conveniência Solar descrito no Capítulo 3, e também com base no método desenvolvido pelo Aroztegui (1980), a continuação é explicada a forma como poderia ser integrado o cálculo dos aportes da Radiação Solar Difusa ($RSDf$) no aumento ou na diminuição dos valores RSP_{final} s.

Como exposto pelo autor, pelo fato do método assumir céu limpo permanente, considera-se que há uma distribuição uniforme da Radiação Solar Difusa na abóbada celeste. Portanto, tal como descrito na Equação 17, na proposta os valores $RSPf$ são calculados, hora a hora para cada dia representativo do mês, a partir da multiplicação entre o Fator de Ponderação (FP), a Radiação Solar Difusa recebida no plano da fachada ($RSDf$), a

média das percentagens da abóbada celeste enxergada pela janela (*MPAE*) e a razão entre a área da janela e a área total da fachada (*AJAN/ATF*). A inclusão desta última variável obedece à necessidade de gerar resultados diferentes em função da área de fachada disponível.

$$RSPdf = FP * RSDf * MPAE * (AJAN / ATF) \quad (\text{Eq. 17})$$

Na Equação 17, o valor do Fator de Ponderação (*FP*) pode ser tomado dos cálculos realizados para a Conveniência da Radiação Solar Direta. Já para o cálculo de *MPAE* devem ser escolhidos vários pontos na janela, com o objetivo de, a partir de cada um, estimar a percentagem da abóbada celeste “enxergada”, e no fim, calcular a média das percentagens encontradas. No cálculo dessas percentagens assume-se que a metade da abóbada (área máxima da abóbada que pode ser enxergada da fachada) corresponde a 100%.

Assim como realizado com as Radiações Solares Diretas, os valores *RSPdf* são tratados através de Diagramas Diagnóstico de Conveniência Solar (*DDC*) e Diagramas Resultantes de Conveniência Solar (*DRC*). No final destes, é realizada uma somatória dos valores de Radiação Solar Difusa Ponderada Inconvenientes (*-RSPdf*) e uma dos valores de Radiação Solar Difusa Convenientes (*+RSPdf*). Os resultados são somados aos obtidos no Método de Conveniência Solar explicado no Capítulo 3.

Para a construção dos *DDC* é assumido uma área da janela equivalente à área total da Fachada.

Como forma de exemplificar, a seguir é apresentado o resultado da aplicação da proposta anteriormente descrita, nos casos N5, N6, N7 e N8, ou seja, o ambiente orientado ao Norte e com uma fachada composta por uma abertura de *PAF* 55,5% e as 4 opções de sombreamento descritas na Tabela 9 (pag. 64).

A fim de simplificar o cálculo do *MPAE*, foram escolhidos apenas alguns pontos representativos das janelas. A localização dos pontos é mostrada na Figura 53.

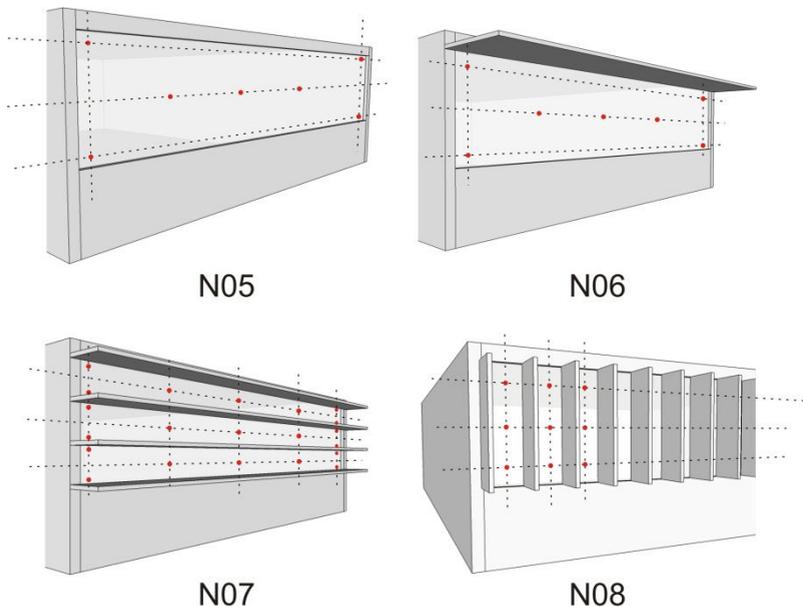


Figura 53 - Localização dos pontos para o cálculo do MPAE

As Figuras 54, 55, 56 e 57 mostram os DRC dos casos estudados:

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	5	18	2	-15	-29	-51	-54	-58	-94	-118	-100	-85	-33
fev	0	11	0	-21	-39	-70	-85	-79	-118	-133	-101	-81	-26
mar		14	7	-9	-23	-55	-75	-65	-97	-109	-82	-59	-5
abr		27	25	7	-1	-22	-38	-27	-50	-61	-43	-31	
mai		39	42	29	18	-2	-13	-6	-23	-32	-17	-9	
jun		35	44	41	34	13	2	10	-1	-6	0	0	
jul		36	46	44	38	18	7	15	2	-2	6	5	
ago		38	47	38	31	12	3	11	0	-4	2	1	
set	2	35	45	32	25	8	0	7	-2	-6	0	0	
out	15	41	36	18	10	-3	-11	-4	-19	-26	-12	-10	
nov	19	40	24	5	-1	-14	-22	-19	-41	-55	-38	-31	-3
dez	14	31	13	-4	-12	-29	-33	-37	-70	-86	-70	-60	-14
									(+RSP)	(-RSP)		RSPfin	
									1246	-3092		-1846	

Figura 54 - DRC de RSPdf caso N05

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	3	10	1	-8	-16	-28	-30	-32	-52	-65	-55	-47	-18
fev	0	6	0	-11	-21	-39	-47	-43	-65	-73	-55	-44	-15
mar		8	4	-5	-13	-30	-41	-36	-54	-60	-45	-32	-3
abr		15	14	4	-1	-12	-21	-15	-28	-34	-23	-17	
mai		22	23	16	10	-1	-7	-3	-13	-18	-10	-5	
jun		19	24	23	19	7	1	6	-1	-3	0	0	
jul		20	25	24	21	10	4	8	1	-1	3	3	
ago		21	26	21	17	7	2	6	0	-2	1	1	
set	1	19	25	17	14	4	0	4	-1	-3	0	0	
out	8	23	20	10	6	-2	-6	-2	-10	-14	-7	-5	
nov	10	22	13	3	-1	-8	-12	-10	-23	-30	-21	-17	-2
dez	8	17	7	-2	-7	-16	-18	-20	-38	-47	-39	-33	-8
									(+RSP)	(-RSP)	RSPfin		
									685	-1701	-1015		

Figura 55 - DRC de RSPdf caso N06

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	1	5	1	-4	-7	-13	-14	-15	-24	-31	-26	-22	-8
fev	0	3	0	-5	-10	-18	-22	-21	-31	-35	-26	-21	-7
mar		4	2	-2	-6	-14	-19	-17	-25	-28	-21	-15	-1
abr		7	6	2	0	-6	-10	-7	-13	-16	-11	-8	
mai		10	11	8	5	-1	-3	-2	-6	-8	-5	-2	
jun		9	11	11	9	3	0	3	0	-2	0	0	
jul		9	12	12	10	5	2	4	1	0	2	1	
ago		10	12	10	8	3	1	3	0	-1	0	0	
set	1	9	12	8	6	2	0	2	-1	-2	0	0	
out	4	11	9	5	3	-1	-3	-1	-5	-7	-3	-3	
nov	5	10	6	1	0	-4	-6	-5	-11	-14	-10	-8	-1
dez	4	8	3	-1	-3	-8	-8	-10	-18	-22	-18	-16	-4
									(+RSP)	(-RSP)	RSPfin		
									324	-804	-480		

Figura 56 - DRC de RSPdf caso N07

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	2	6	1	-5	-9	-16	-17	-19	-30	-38	-32	-27	-10
fev	0	3	0	-7	-12	-23	-27	-25	-38	-43	-32	-26	-8
mar		4	2	-3	-8	-18	-24	-21	-31	-35	-26	-19	-2
abr		9	8	2	0	-7	-12	-9	-16	-20	-14	-10	
mai		13	13	9	6	-1	-4	-2	-7	-10	-6	-3	
jun		11	14	13	11	4	1	3	0	-2	0	0	
jul		11	15	14	12	6	2	5	1	0	2	1	
ago		12	15	12	10	4	1	4	0	-1	1	0	
set	1	11	15	10	8	2	0	2	-1	-2	0	0	
out	5	13	11	6	3	-1	-3	-1	-6	-8	-4	-3	
nov	6	13	8	2	0	-4	-7	-6	-13	-18	-12	-10	-1
dez	5	10	4	-1	-4	-9	-10	-12	-22	-27	-23	-19	-4
									(+RSP)	(-RSP)	RSPfin		
									399	-989	-591		

Figura 57 - DRC de RSPdf caso N08

A Tabela 32 mostra as somatórias dos resultados obtidos com o método de Conveniência Solar e com a proposta previamente descrita. Nos resultados, evidencia-se a influência da inclusão da radiação solar difusa nos cálculos, chegando inclusive a modificar a valoração do sistema de fachada. Nos casos N06 e N07, por exemplo, a adição das RSPdf mudou o caráter da valoração final, passando de positivo a negativo.

Tabela 32 - Somatória RSP e RSPdf.

Caso		RSP	RSPdf	RSPfinal
N05	+	+5165	+1246	+6411
	-	-9621	-3092	-12713
	<i>Total</i>	-4455	-1846	-6302
N06	+	+1994	+685	+2679
	-	-1277	-1701	-2978
	<i>Total</i>	+718	-1015	-299
N07	+	+572	+324	+896
	-	-264	-804	-1068
	<i>Total</i>	+309	-480	-172
N08	+	+1334	+399	+1733
	-	-3853	-989	-4842
	<i>Total</i>	-2519	-591	-3109

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as principais conclusões da pesquisa. Adicionalmente, são enunciadas as limitações encontradas ao longo do desenvolvimento do estudo e, com base nisso, são apresentadas ao final, algumas sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

No projeto arquitetônico, a determinação da fachada requer a consideração simultânea de vários interesses e requisitos. Contudo, as medidas adotadas para atender alguns deles compromete o atendimento de outros. Portanto, visando atingir o melhor desempenho em todos os requisitos, é fundamental estabelecer as prioridades do projeto e balancear os interesses. A procura desse bom desempenho combinado não deve ser realizada apenas nas fases finais de elaboração do projeto, mas desde suas fases iniciais, quando modificações substanciais na fachada ainda podem ser implementadas.

Dentre os requisitos, os visuais e os térmicos são amplamente trabalhados na área de conforto ambiental. Contudo, apesar do conflito de objetivos que ambos apresentam, não é comum encontrar iniciativas que abordem simultaneamente análises dos seus desempenhos. Pelo contrário, principalmente em localidades geográficas com climas tropicais, esse conflito de objetivos é resolvido dando prioridade aos assuntos térmicos para evitar consumos excessivos em sistemas de refrigeração.

Portanto, esta pesquisa centrou-se na proposição de um método para avaliar o desempenho de sistemas de fachada de forma simultânea nos requerimentos visuais e nos térmicos. A proposta incluiu a disposição de um sistema gráfico que permitisse a visualização integrada das avaliações relacionadas a aspectos térmicos e luminosos. Finalmente, com o intuito de testar o método, foram realizadas avaliações sobre um ambiente hipotético com diferentes opções de fachada e diferentes orientações.

O método proposto compreendeu a escolha e a complementação de métodos e ferramentas para avaliar as variáveis relacionadas a aspectos luminosos e térmicos.

As avaliações relacionadas à admissão e à distribuição luminosa foram realizadas através de simulações computacionais no programa **Daysim** e com o uso da métrica dinâmica **UDI (Useful Daylight Autonomy)**. Em geral, foi possível identificar nos testes as diferenças nos resultados da admissão da luz natural entre os ambientes com diferentes fachadas. Porém, foram identificadas dificuldades relacionadas à amplitude das faixas pré-estabelecidas na métrica: a faixa de iluminâncias útil (entre 100 e 2000 lux) é muito ampla e, portanto, os resultados poderiam estar mascarados.

Devido à largura dos ambientes avaliados e à consideração de uma única janela, nos testes foram obtidas médias UDI-excessiva muito baixas, inclusive nos casos desprovidos de dispositivos de controle solar: o valor mais elevado foi obtido no caso ND09 (5,87%). Contudo, cuidados deveram ser considerados na análise dos resultados, já que os valores UDI-excessivo maiores concentraram-se nas áreas próximas à janela. Além disso, perante a impossibilidade de obter valores da uniformidade nos diferentes instantes avaliados com o uso do programa **Daysim**, foi utilizado o desvio padrão para analisar a distribuição. Embora o uso da medida de dispersão estatístico não consiga substituir a utilidade do cálculo da uniformidade, forneceu uma ideia global da distribuição.

Para complementar as análises, foram construídos gráficos com curvas **isoUDI-útil** e gráficos **DAU (Distribuição da Área segundo UDI-útil)**. Os gráficos com curvas **isoUDI-útil** permitiram a visualização da distribuição em planta dos valores UDI-útil, enquanto que os **DAU** contabilizaram a percentagem de área do plano de trabalho, distribuindo-os em grupos de 10% de amplitude, de acordo com o tempo de permanência na faixa do nível luminoso útil. Ambos os gráficos foram muito úteis na compreensão do impacto dos sistemas de fachada na iluminação natural.

Por outro lado, vários pesquisadores apontam que em localidades com climas tropicais, uma das principais causas de desconforto térmico está relacionada ao ganho de calor excessivo produzido pela exposição à radiação solar direta. Portanto, visando reduzir a complexidade das avaliações relacionadas a aspectos térmicos, o método escolhido focou-se na conveniência da radiação solar direta.

O método de **Conveniência Solar** implementado foi o resultado das alterações realizadas ao método para estimar a eficiência de pára-sóis externos desenvolvido por Aroztegui (1980):

- As alterações relacionadas ao cálculo dos valores de Radiação Solar Direta Ponderada (*RSP*) incluíram a contabilização da área ensolarada da janela (AEJ) em relação à área total da fachada (ATF). Essa modificação permitiu, nos testes, a comparação de ambientes com diferentes tamanhos de janela, mas impediu a comparação entre ambientes com diferente área total da fachada disponível.

- A alteração relacionada à variação da Temperatura Interna devida à carga térmica interna própria de prédios de escritórios forneceu mudanças na percepção da conveniência da incidência solar em vários instantes avaliados. Apesar da simplicidade do método utilizado nos testes para calcular o aporte da carga térmica interna nos acréscimos da Temperatura Interna, verificou-se um aumento dos valores *RSP* inconvenientes principalmente nas horas da tarde e no verão. Como consequência, verificou-se também uma diminuição dos valores **RSPfinal** quando considerada a carga térmica interna.

- As alterações relacionadas ao tratamento gráfico dos resultados permitiram realizar uma visualização mais completa da conveniência solar. Os **DDC** forneceram o diagnóstico de conveniência/inconveniência: esses diagramas ofereceram uma visualização preliminar das necessidades a serem atendidas pelos sistemas de fachada em cada uma das orientações estudadas. Já os **DRC** apresentaram o desempenho de cada caso estudado nos testes: a variação dos valores *RSP* distribuídos ao longo do ano nos **DRC** em relação aos valores *RSP* distribuídos ao longo do ano nos **DDC**, permitiu visualizar a eficiência do sistema de fachada na permissão da entrada de raios solares quando convenientes e no impedimento, quando inconvenientes.

Visando explorar o caminho para, em trabalhos futuros, revisar a **factibilidade do uso** do Método de Conveniência Solar proposto, foi realizado um ensaio no qual foram realizadas comparações entre os valores $-RSP_{final}$ obtidos em alguns casos e os resultados de simulações energéticas realizadas no *Energy Plus* para esses mesmos casos. Os resultados do ensaio mostraram que, nos casos avaliados, o método proposto oferece

uma visão preliminar correta da Conveniência/Inconveniência da incidência solar.

Adicionalmente, como complemento ao método, foi explorado o modo como poderia ser integrado o cálculo dos aportes da **Radiação Solar Difusa (RSDf)** no aumento ou na diminuição dos valores RSP_{final}. Os resultados evidenciam a influência da inclusão da radiação solar difusa nos cálculos de Conveniência Solar, chegando inclusive a modificar a valoração do sistema de fachada.

Referente às variáveis estudadas, pode-se dizer que as ferramentas e os métodos escolhidos podem auxiliar o arquiteto, na concepção da fachada. Contudo, visando realizar a análise integrada foram escolhidos a **média UDI-útil** e o **RSP_{final}** dos **DRC**. Para facilitar a visualização e comparação foi proposto o **Diagrama de Integração das Variáveis**.

Nos testes, tanto na etapa 1 como na etapa 2, o **Diagrama de Integração das Variáveis** mostrou ser uma ferramenta simples mas útil, para comparar o desempenho simultâneo na admissão da luz natural e na conveniência da incidência solar de diferentes sistemas de fachada. Em muitos casos, o Diagrama mostrou que uma boa opção de fachada, sob o ponto de vista da iluminação natural, pode ser não tão boa sob o ponto de vista da Conveniência Solar, e vice-versa. Contudo, no **Diagrama Final de Integração das Variáveis** (etapa 2) e nos Diagramas colocados no apêndice 8.6, foi preciso cuidado na interpretação dos dados: devido ao fato do método de Conveniência Solar trabalhar a partir da disponibilidade solar na seção da abóbada celeste à qual a fachada é orientada, os valores RSP_{final} variaram muito segundo a orientação. Portanto, as conclusões da comparação entre sistemas de fachada com diferente orientação não foram inferidas diretamente do Diagrama.

Por outro lado, o **Diagrama de Integração das Variáveis** não forneceu uma ideia geral da distribuição nem dos valores UDI-insuficiente e UDI-excessivo. Em vários dos casos analisados na etapa 1, a análise dos resultados colocados no **Diagrama de Integração das Variáveis** precisou ser complementada com a informação levantada nas análises separadas de luz natural. Quanto à distribuição, nos testes, principalmente nos casos que apresentaram médias UDI-útil parecidas e valores RSP_{final} próximos, foi necessário consultar a

informação levantada nas análises de luz natural a fim de escolher a opção com melhor desempenho combinado.

Finalmente, os cálculos realizados para testar o método incluíram a definição um ambiente hipotético com 12 opções de fachada e 8 orientações. No total foram analisados 96 casos. Para cada orientação as comparações entre os 12 casos mostraram grande variação dos resultados obtidos. Essa variação possibilitou a identificação preliminar das características mais convenientes da fachada para atender de forma equilibrada aos requerimentos térmicos e luminosos do projeto.

6.2 Limitações do trabalho

Durante o desenvolvimento desta pesquisa foram identificadas várias limitações, algumas delas relacionadas ao método de Conveniência Solar proposto e outras às simulações de iluminação natural. O trabalho limitou-se em relação a:

- O cálculo da Temperatura Interna: apesar dos acréscimos devidos à carga interna, o cálculo da Temperatura Interna teve como base a Equação descrita originalmente por Aroztegui (1980). A validade dessa Equação limita-se a espaços com fachadas de materiais com inércia térmica média.

- O tipo de uso do ambiente: todas as considerações nesta pesquisa foram realizadas assumindo uma carga interna típica de ambientes de escritórios.

- O cálculo da carga térmica interna. Visando simplificar as simulações luminosas, no cálculo da carga interna foi considerada uma contribuição constante de sistemas de iluminação artificial equivalente a 200W. Além disso, o cálculo do aumento da Temperatura Interna devido à carga térmica interna limitou-se a um caso específico (05).

- O número de testes: devido à longa duração das simulações, apenas foi considerado 1 ambiente com abertura unilateral, 3 tamanhos de janela e 4 possibilidades de sombreamento.

- A localidade geográfica: o ensaio do método foi testado apenas para a cidade de Florianópolis.

- A frequência de cálculo utilizada no método de Conveniência. Os cálculos de Conveniência Solar foram realizados, hora a hora, somente para o dia representativo do mês.

- A área total da fachada: as complementações implementadas no método de Conveniência Solar limitam-se a possibilitar a comparação de janelas e dispositivos de sombreamento de ambientes com mesma área de fachada (ATF).

- A distribuição interna: como o programa escolhido para realizar as simulações dinâmicas de luz natural não fornece os resultados estáticos, não foi possível realizar estimativas da uniformidade. Em compensação, utilizaram-se medidas estatísticas de dispersão para analisar a distribuição.

- As faixas UDI. A faixa de iluminâncias útil (entre 100 e 2000 lux) é muito ampla. O programa utilizado não permite a variação dos limites das faixas.

6.3 Sugestões para trabalhos futuros

A partir das limitações identificadas e dos resultados encontrados nesta pesquisa, foram geradas algumas sugestões a serem consideradas em trabalhos futuros. O objetivo destas sugestões é facilitar a compreensão e a análise dos fenômenos físicos envolvidos. Sugere-se:

- Explorar outras alternativas de cálculo da temperatura interna.

- Incluir o uso do método de Conveniência Solar para outras localidades geográficas.

- Aroztegui (1980) enfatiza que, no caso de os raios solares atingirem as pessoas, a sensação de desejabilidade solar pode mudar drasticamente, por tanto, é importante definir zonas internas de ocupação humana que, no caso de ser atingidas pelos raios solares, modifiquem a magnitude e/o sinal dos valores RSP.

- Incrementar a quantidade de opções de fachadas a serem avaliadas.

- Construir uma ferramenta computacional que facilite a obtenção e edição gráfica dos resultados das simulações.

- Aprofundar na aparência do Diagrama de Integração. Propõe-se dividir a retícula desse Diagrama por zonas delimitadas segundo as condições mínimas recomendadas de UDI-útil e de RSPfinal.

- Utilizar um Diagrama de Integração que ofereça mais informação luminosa. Nesse sentido sugere-se explorar ícones e

cores para incluir a média UDI-insuficiente e/ou a média UDI-excessiva no Diagrama de Integração.

- Implementar outros diagramas complementares que contenham informação acerca da distribuição interna da luz natural.

- Para evitar que as faixas UDI mascarem alguns resultados, propõe-se explorar outras métricas alternativas complementares para a estimativa da luz natural: sugere-se integrar ao método o cálculo da admissão da luz natural através de DA (*Daylight Authonomy, %*).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1992). **NBR-5413 Iluminância de interiores**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 13p, 1992.

ABNT (1998) **CB02. CE-02:135.07-001 Desempenho térmico de edificações: definições, símbolos e unidades**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 11p, 1998.

ASHRAE. **Climatic Design Information**. In: ASHRAE Handbook Fundamentals, Cap. 14, Atlanta, 2009

ANDERSEN, Marilyne et al. An intuitive daylighting analysis and optimization approach. **Building, research and information**, n.36 (6), p 593-607, 2008.

ANDERSERN, M; KLEINDIENST, S; GAGNE, J. **Lightsolve Tutorial**. Building technology program, MIT Department of architecture, E.U., 2010, 39p. Disponível em: http://daylighting.mit.edu/publications/LIGHTSOLVE_TUTORIAL_2010-05.pdf Acesso em: 21 jan. 2011.

AJMAT, Raul; MARDALJEVIC, Jhon. **IV Congreso latinoamericano sobre confort y comportamiento térmico de las edificaciones**. In: IV Cotedi. 2005. Ciudad de México, México. **Evaluación lumínica de protectores solares en edificios públicos**. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2005.

ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION (Estados Unidos). **Daylighting metric development using Daylight Autonomy calculations in the sensor placement optimization tool: development Report and Case Studies**. Colorado, 2006. Disponível em: http://www.archenergy.com/SPOT/SPOT_Daylight%20Autonomy%20Report.pdf. Acesso em: 02 fev. 2010.

ARANGO, Lucas; RUANO, Alejandro. **Fachadas mutables: construcción del índice ambiental sol/luz**. 2007. 63f. Curso de

pregrado (Facultad de arquitectura) – Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2007.

ARZTEGUI, Jose Miguel. Método para projeto e avaliação de pára-sois externos, visando à otimização do seu desempenho térmico para um clima dado. **Porto Alegre: Caderno Técnico (CT 17/80), Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil - UFRGS, 1980. 63 p**

BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. **Daylighting design of buildings**. Hong Kong: James & James Ltd, 2002.

BASSO, Admir; ARGOUT, Daniel. **V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. In: ENCAC, 5, 1997, Salvador. **Avaliação do desempenho de sistemas de controle de insolação e sua interferência na iluminação natural**. Salvador: ENCAC, 1997. P 315-318 CD-ROM

BOGO, Amílcar Jose. **Método para Avaliação da Admissão de Luz Natural Através de Aberturas com Elementos de Controle Solar**. 2007. 308 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 2007.

BOUBEKRI, Mohamed. **Daylighting, Architecture and Health. Building design strategies**. Inglaterra: Elsevier Ltd, 2008

BOYCE, Peter R. **Human Factors in Lighting**. 2. ed. London: Taylor & Francis, 2003. 525 p.

BÜLOW-HÜBE, Helena. **Third ISES Europe Solar Congress**. In: Proc. Eurosun 2000. Copenhagen, Dinamarca, **Office Worker Preferences of Exterior Shading Devices: A Pilot Study**. Copenhagen: 2000 Disponível em: <http://www.belok.se/docs/dagsljus/4_brukarnas_syn.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2011.

CABEZA, J.M. Los factores de configuración o cuando la forma toma el mando. **Revista Habitex**. n. 9. p. 18-23. 2001

CARVALHO, Carolina Rocha. **Avaliação do programa APOLUX segundo protocolos do relatório CIE 171: 2006 referentes à**

iluminação natural. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – PósArq - UFSC, Florianópolis 2009.

CAUWERTS, Coralie; BODART, Magali; ANDERSEN, Marilyne. **Conference on Passive and Low Energy Architecture.** In: PLEA, 26. 2009, Quebec, Canada. **A first application of the lightsolve approach: pre-design of the new Belgian VELUX headquarters.** Quebec, Canada: Université Laval, 2009.

Disponível em:

<<http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/En/Proceedings.html>>.

Acesso em: 05 mar. 2010.

CHRISTAKOU, Evangelos D. **A Simulação Computacional da Luz Natural Aplicada ao Projeto de Arquitetura.** 2004.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

CIE – COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE.

<http://www.cie.co.at/index_ie.html> Acesso em 06 de agosto de 2010 CIE STANDARD – Spatial distribution of daylight — CIE standard general sky. in: **ISO 15469.** 2004.

CLARO, Anderson. **Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade aplicado à Iluminação Natural.** 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 1998.

CLARO, Anderson; et al. XIII Encontro Latinoamericano de conforto no ambiente construído. In: ENTAC XIII, 2010, Canela (RS). **Comparação dos níveis de iluminação obtidos através de simulações computacionais no software Apolux, usando os 15 modelos de céu adotados pela CIE.** Canela: ENTAC, 2010.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura confortável para os trópicos. Conforto ambiental.**Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DARULA, S.; KITLER, R. **Sim 2002,** In: Proc. IBPSA 2002, Montreal – Canadá. **CIE general sky standard defining**

luminance distributions. Montreal, Canadá, IBPSA, pp. 11–13, 2002. Disponível em:
<<http://www.esim.ca/2002/documents/Proceedings/other2.pdf>>.
Acesso em: 05 ago. 2010.

DAVID, M.; DONN M.; GARDE F.; LENOIR A. Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades. **Building and Environment** (Artigo aceito para publicação), 2011.

Dicionário Priberam da Língua Portuguesa
<<http://www.priberam.pt/DLPO/default.aspx?pal=conveni%C3%A7%C3%A3o>> Acesso em 03 de maio de 2011

DIDONÉ, Evelise. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC.** 2009. 174 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - UFSC, Florianópolis, 2009.

DIDONÉ, Evelise Leite; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. **A construção do futuro. Xi encontro nacional de tecnologia no ambiente construído.** In: ENTAC, 11, 2006, Florianópolis, SC. **Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula.** Florianópolis: Entac, 2006. p. 294 - 303. CD-ROM.

DUBOIS, Marie-Claudie. **Third ISES Europe Solar Congress.** In: Proc. Eurosun 2000. Copenhagen, Dinamarca, **A method to define shading devices considering the ideal total solar energy transmittance.** Copenhagen: 2000 Disponível em:
<http://www.grap.arc.ulaval.ca/attaches/Dubois/Eurosun_Gvalue.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2010.

DUBOIS, Marie-Claude. **Impact of Shading Devices on Daylight Quality in Offices. Simulations with Radiance.** Lund, Suécia: Department of Construction and Architecture, Division of Energy and Building Design, Lund University, 2001.

DUTRA, Luciano. **Uma metodologia para a determinação do fator solar desejável em aberturas.** 1994. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 1994.

FADZIL, S.F.S; SAI S-J, Sunlight control and daylighting distribution analysis: the KOMTAR case study. **Building and Environment**, n 39, p 713-717, 2004.

FIUZA, Julia Matossinho. **A influência de elementos de proteção solar horizontais aplicados a aberturas laterais na admissão e distribuição da luz natural**. 2008. 183 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - UFSC, Florianópolis, 2008.

FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GHISI, E.; Tinker, J.A, An ideal window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, 40, 51-61, 2005.

GOULART, Solange. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. 1993. 111f. Dissertação do Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 1993.

HAGHPARAST, F.; MARSH, A. **Internacional Conference on passive and low energy architecture**. In: PLEA 2004, Eindhoven, Holanda. **The application of computer-optimised solutions to tightly defined design problems**. Eindhoven, Holanda, PLEA 2004. Disponível em: <<http://andrewmarsh.com/andrew/publications>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J.. **Iluminação Natural**. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1966.

IEA (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY). **Daylighting in buildings. A source book on daylighting systems and components**. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory, E.U. 2000.

INTERNACIONAL STANDARD – Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. In: **ISO 7726**. Suíça, 1998.

KAFTAN, E. **THE 18th Internacional Conference on passive and low energy architecture.** In: PLEA 2001, Florianópolis. **The Cellular Method to design energy efficient shading form to accommodate the dynamic characteristics of climate.** Florianópolis, PLEA 2001. V2, p. 829 – 833.

KAFTAN, E.; MARSH, A. **International Conference. Passive and Low energy Cooling for the Built environment.** In: Proc. PALENC, Santorini, Grecia. **Integrating the Cellular Method for Shading Design with a Thermal Simulation.** Santorini, Grecia 2005. Disponível em:
<<http://andrewmarsh.com/andrew/publications>>. Acesso em: 03 dez. 2010

KITLER, Richard; PEREZ, Richard; DARULA, Stanislav. **The 8th European lighting conference.** In: Proc. Conf. Lux, Europa, 1997, Amsterdam. **A new generation of sky standars.** Amsterdam: Martin van Ooyen e Laurens Zonneveldt, p.359-373, 1997.

KREMER, Adriano. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna da iluminação natural: estudo de caso em protótipo escolar em Florianópolis.** 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFSC, Florianópolis, 2002.

LAM, WILLIAM M. C. **Sunlighting as formgiver for architects.** New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2da Edição. São Paulo: Prolivros, 2004. 192p.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antônio; GOULART, Solange. **Conforto e stress térmico.** Apostila do curso de pós-graduação em arquitetura e urbanismo UFSC; Florianópolis: LABEEE, 2008.

LAAR, Michael. **THE 18th Internacional Conference on passive and low energy architecture.** In: PLEA 2001, Florianópolis. **Light and shadow .Analysis of daylighting and shadowing**

system for the tropics. Florianópolis, PLEA 2001. V1, P 209 – 213.

MACÊDO, Catharina Cavalcante de. **Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol.** 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFSC, Florianópolis, 2002.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da metodologia científica.** Sexta edição, São Paulo: Editora Atlas S.A., 2009. 315 p.

MARDALJEVIC, J. Spatio-temporal dynamics of solar shading for a parametrically defined roof system. **Energy and buildings**, n.36, p.815-823, 2004.

MARSH, Andrew. **ANZAScA.** In: ANZAScA Conference Proceedings, 1996, Hong Kong, China. **Integrating performance modeling into the initial stages of design.** Chinese University of Hong Kong, China, 1996. Disponível em: <<http://andrewmarsh.com/andrew/publications>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

MARSH, Andrew. **IBPSA Conference.** Computer-Optimised Shading design. **Building Simulation 2003.** Eighth International IBPSA Conference, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Holanda, 2003. Disponível em: <<http://andrewmarsh.com/andrew/publications>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

MARSH, Andrew; CARRUTHERS, Derek. **ANZAScA.** In: ANZAScA Conference Proceedings, 1995, Camberra, Australia. **A selection of interactive design tools.** The University of Camberra, Australia, 1995. Disponível em: <<http://andrewmarsh.com/andrew/publications>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

MARSH, Andrew. ECOTECH and ENERGY PLUS. **Building Energy Simulation User News**, v24, n6, 2003.

MILLS, E.; Borg, N. Trends in Recommended Lighting Levels: An International Comparison." **Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, 28(1):155-163. USA, 1999.

MING-CHIN, Ho et al. Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classroom. **Energy And Buildings**, n. 40, p.1844-1855, 2008.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research and Technology**, n37,1, p 41-59, 2005.

NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990). **Departamento Nacional de Meteorologia**. Ministério de Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, 1992.

_____. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, n38, p 905-913, 2006.

OCHOA, C.E.; CAPELUTO, I.G. Advice tool for early design stages of intelligent facades based on energy and visual comfort approach. **Energy and Buildings**, n41, p 480-488, 2009

PEREIRA, F.O.R. **Luminous and thermal performance of window shading and sunlighting reflecting devices**. 1992. 301 f. Tese (PhD) – School of architectural studies. University of Sheffield, Inglaterra, 1992.

PEREIRA, F.; NOME, C.; TURKIENIKZ, B.; A methodology for solar urban planning: a computed-based solar sky vault obstruction analysis. **Solar Energy**, n03,p217-223, 2001.

PEREIRA, Roberto C. **Avaliação de Ferramentas de Simulação de Iluminação Natural por Meio de Mapeamento Digital de Luminâncias da Abóbada Celeste e Entorno**. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2009.

PEREIRA, Iraci; ASSIS, Eleonora de. Avaliação de modelos de índices adaptativos para o uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente construído**, n1, v10, p31-51, 2010.

PEREZ, R.; SEALS, R.; MICHALSKY, J.. All-weather model for sky luminance distribution preliminary configuration and validation. **Solar Energy**, U.S.A., v. 50, n. 3, p.235-245, 1993

REINHART, C. F . **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Institute for research in Construction National Research Council Canada, Canada. 2006.

REINHART, Christoph.; WALKENHORST, Oliver. Validation of dynamic RADIANCE based daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, no 7, p 683-697, set. 2001.

REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, Jhon; ROGERS, Zack. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design: NRCC-48669. **Leukos**, Canada, v. 3, n. 1, 2006. Disponível em: < <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc48669/nrcc48669.pdf> >. Acesso em: 08 ago. 2010.

ROBERTS, A.; MARSH, A.J. **ECAADE** In: Proc. of 19th Education for Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki, 2001. **ECOTECT: Environmental Prediction in Architectural Evaluation**. 19th ECAADE, Helsinki, Finlândia, 2001.

SALAZAR, Jorge. **Parquesol-luz** (Informe técnico). Medellín: PVG Arquitectos, 2008. 47p.

SALAZAR, J.; GARCÍA, A.; GONZÁLEZ, A.; **Informe Final. Asesoría ambiental. Torres de Oficinas: Plaza de La Libertad**. Medellín: PVG Arquitectos, 2008, 44p.

SALAZAR, J.; GONZALEZ, A. **Luz Natural en la Arquitectura**. Medellín: Cristalería Peldar S.A., 2004

_____. X ENCONTRO NACIONAL e VI ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO. In: ENCAC, 10., 2009, Natal. **Índice Sol-Luz: Método para valorar la calidad del aprovechamiento de la luz natural**. Natal: ENCAC, 2009. p. 1728 - 1734. CD-ROM

_____. **Manual Del usuário**: Parquesol-luz (Informe técnico). Medellín: PVG Arquitectos, 2010. 16p.

SOEBARTO, Verónica; DEGELMAN, Larry. **Symposium on Improving building system in Hot and Humid climates**. In: Proc. Of the Ninth Symposium on Improving building system in Hot and Humid climates. 1994, Arlington, E.U. **Effectiveness of external windows attachment based on daylighting utilization and cooling load reduction for small office buildings in hot humid climates**. Arlington, E.U, 1994.

Disponível em:

<http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/6634/ESL-HH-94-05-15.pdf?sequence=4>. Acesso em: 25 nov. 2010.

SZOKOLAY, S.V. **Environmental Science Handbook for Architects and Builders**. The Construction Press, Lancaster, UK, 1980.

SOUZA, Marcos Barros de. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. 2003, 208f. Tese. (Doutorado em Engenharia de Produção) – UFSC, Florianópolis, 2003

TZEMPELIKOS, A.; ATHIENITIS, A. K. The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. **Solar Energy**, v 81, p 369- 382, 2007.

TREGENZA, P; WATER, I.C. Daylight Coefficient. **Lighting Research and technology**, v. 15, no 2, p. 65 - 71, 1983.

TREGENZA, Peter. **Daylighting algorithms**. Sheffield: School of Architecture Studies, University of Sheffield, 1993.

TIBIRIÇÁ, A. C. G. **Janelas: análise sistêmica para desempenho ambiental**. 1997. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - UFSC, Florianópolis, 1997.

UNVER, Rengin et al. Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices. **Energy and buildings**, n35, p 737-746, 2005.

WONG, .N; ISTIADJI, A.D. **IBPSA Conference**. Effects of external shading devices on daylighting and natural ventilation. **Building Simulation 2003**. . Eighth International IBPSA Conference, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Holanda, p 475-482, 2003. Disponível em: < http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5CIBPSA%5CUFSC915.pdf >. Acesso em: 02 fev. 2011.

WONG, Nyuk; ISTIADJI, Agustinus. Effect of external shading devices on daylighting penetration in residential buildings. **Lighting Research and technology**, n36,4, p 317-333, 2004.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Condições de conforto térmico para estudantes de segundo grau na região de Florianópolis**. 1999. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 1999.

YENER, A.K. A method of obtaining visual comfort using fixed shading devices in rooms. **Building and Environment**, n34, p. 285-291, 1999.

8. APÊNDICE

8.1 Temperatura Média Mensal e Temperatura Neutra (Modelo Xavier).

Tabela 33 - Temperatura Neutra. Modelo de Xavier (1999).
(Fonte da Temperatura Média Mensal: Goulart, p.41)

	Tmm [°C]	Tn [°C]
jan	24,3	24,6
fev	24,5	24,7
mar	23,6	24,3
abr	21,2	23,5
mai	18,8	22,6
jun	17,1	22,1
jul	16,6	21,9
ago	17,3	22,1
set	18,2	22,4
out	19,8	23,0
nov	21,5	23,6
dez	23,1	24,2

8.2 Temperatura Dia Mensal Típico [°C]. Florianópolis

Tabela 34 - Temperatura Dia Mensal Típico – Florianópolis.

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	21,0	21,5	22,9	24,4	25,8	27,0	27,8	28,4	28,8	28,8	28,3	27,7	26,9
fev	21,3	21,8	23,2	24,7	26,0	27,2	28,0	28,6	29,0	29,0	28,5	27,9	27,1
mar	20,4	20,9	22,2	23,7	25,0	26,2	27,0	27,6	28,0	28,0	27,5	26,9	26,1
abr	18,0	18,5	19,9	21,4	22,7	23,9	24,7	25,3	25,7	25,7	25,2	24,6	23,8
mai	15,1	15,7	17,2	18,9	20,4	21,8	22,6	23,4	23,8	23,8	23,3	22,6	21,7
jun	13,7	14,2	15,6	17,2	18,6	19,8	20,6	21,3	21,7	21,7	21,2	20,6	19,7
jul	13,2	13,7	15,1	16,6	18,0	19,2	20,0	20,7	21,1	21,1	20,6	20,0	19,2
ago	14,1	14,6	15,9	17,3	18,6	19,8	20,5	21,1	21,5	21,5	21,0	20,4	19,7
set	15,2	15,7	16,9	18,2	19,4	20,4	21,1	21,7	22,0	22,0	21,6	21,0	20,3
out	16,8	17,3	18,5	19,9	21,1	22,2	22,9	23,4	23,8	23,8	23,4	22,8	22,1
nov	18,3	18,9	20,1	21,5	22,8	23,9	24,6	25,2	25,6	25,6	25,2	24,6	23,8
dez	19,8	20,3	21,6	23,1	24,4	25,5	26,3	26,9	27,3	27,3	26,8	26,2	25,5

8.3 Temperatura Média das Máximas e Temperatura Média das Mínimas.

Tabela 35 - Temperatura Média das Máximas e Temperatura Média das Mínimas. Florianópolis.
(Fonte: Goulart, p.33)

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T. Media MAX	28,8	29,0	28,0	25,7	23,8	21,7	21,1	21,5	22,0	23,8	25,6	27,3
T. Media MIN	20,8	21,1	20,2	17,8	14,9	13,5	13,0	13,9	15,1	16,7	18,2	19,6

8.4 Diagramas Diagnóstico de Conveniência Solar.

8.4.1 Norte

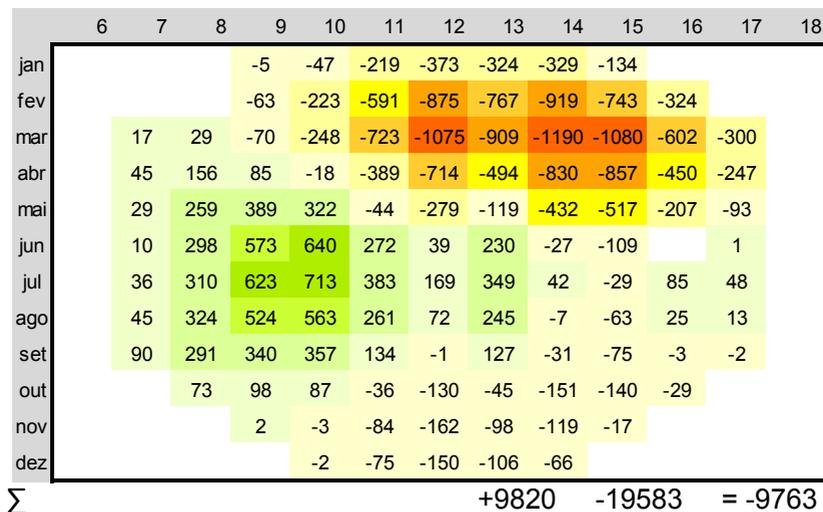
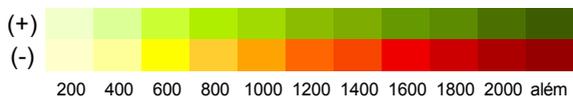


Figura 58 - DDC. Fachada Norte.



8.4.2 Nordeste

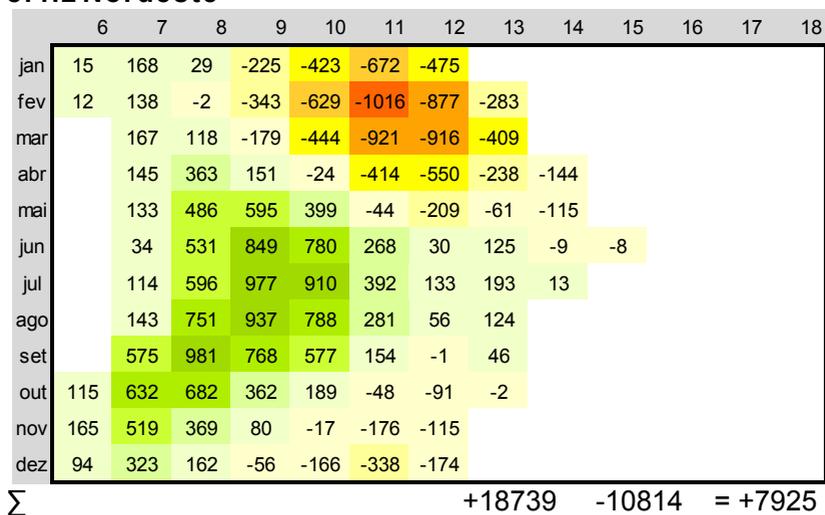


Figura 59 - DDC. Fachada Nordeste.

8.4.3 Leste

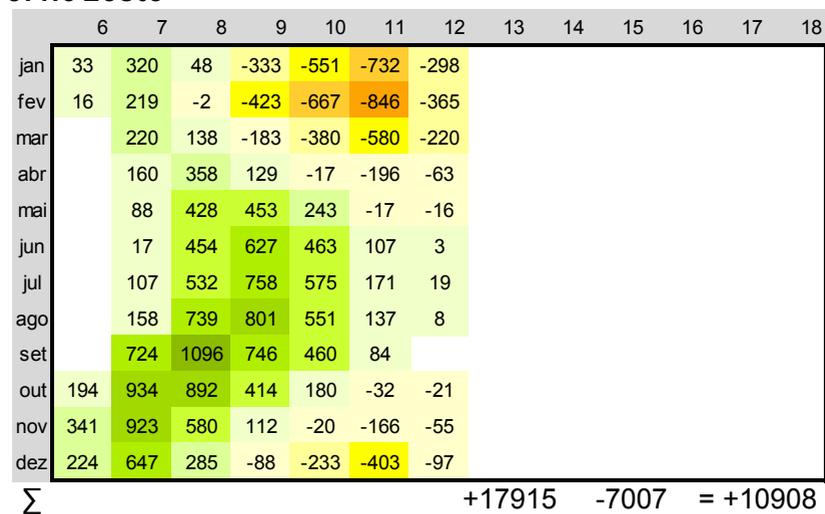
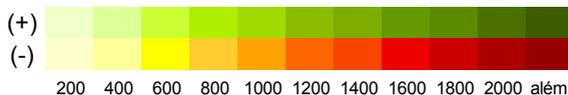


Figura 60 - DDC. Fachada Leste



8.4.4 Sudeste

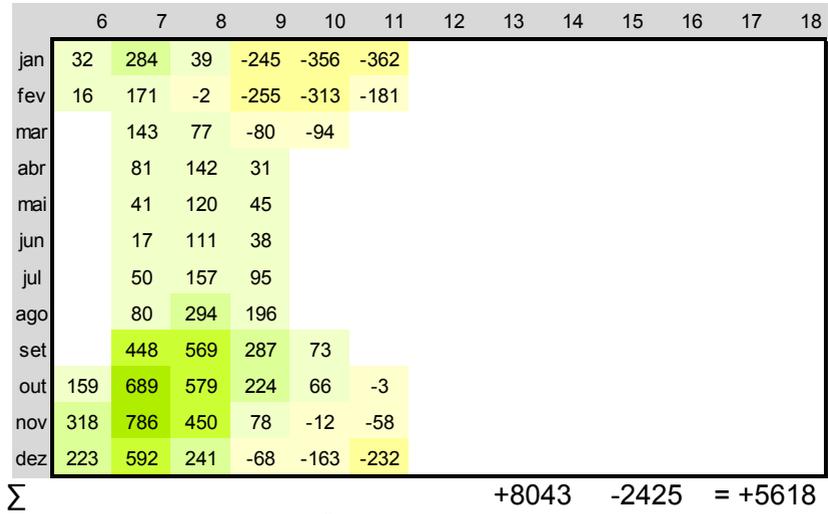


Figura 61 - DDC. Fachada Sudeste.

8.4.5 Sul

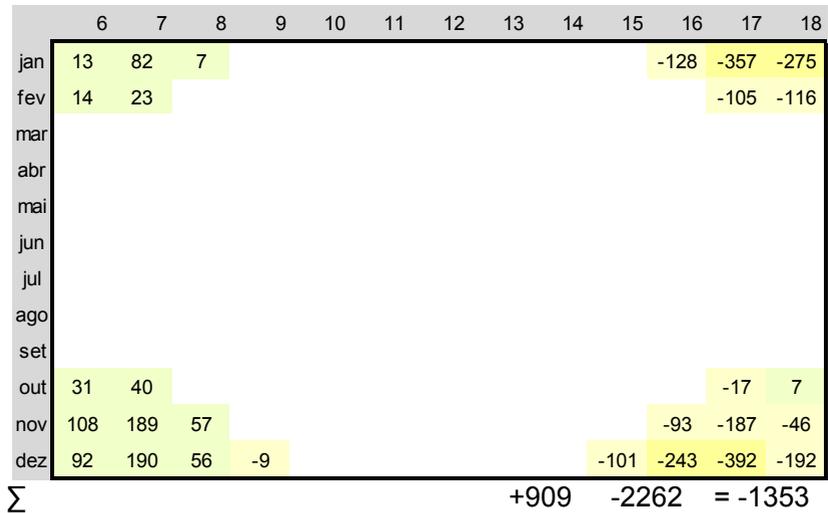
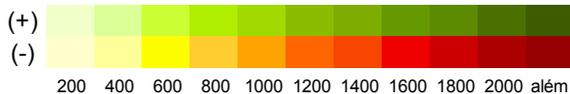


Figura 62 - DDC. Fachada Sul.



N11	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fev	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-8	-4	0	0
mar		1	1	-1	0	0	0	0	0	-10	-16	-18	0
abr		15	5	1	0	0	0	0	0	-8	-15	-80	
mai		15	76	56	0	0	0	0	-1	-75	-61	-48	
jun		6	110	124	88	17	3	15	-4	-24	0	0	
jul		19	92	90	1	0	0	0	0	-4	25	25	
ago		15	10	5	0	0	0	0	0	-1	1	4	
set	0	5	8	3	0	0	0	0	0	-1	0	0	
out	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											838	-379	459

Figura 76 - DRC de N11

N12	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	-7	-60	-185	-89	-46	-9	0	0	0
fev	0	0	0	-5	-23	-195	-486	-253	-96	-54	-13	0	0
mar		0	1	-4	-31	-277	-612	-348	-150	-66	-22	-6	0
abr		0	6	4	-2	-128	-407	-163	-92	-43	-16	-3	
mai		0	6	22	68	-15	-163	-40	-91	-30	-5	0	
jun		0	5	29	206	122	23	103	-9	-6	0	0	
jul		0	8	36	150	130	99	119	9	-2	2	0	
ago		0	12	26	62	86	41	81	-1	-3	1	0	
set	0	2	11	21	45	51	-1	49	-4	-5	0	0	
out	0	0	3	7	9	-12	-72	-15	-16	-10	-1	0	
nov	0	0	0	0	0	-23	-80	-27	-17	-1	0	0	0
dez	0	0	0	0	0	-17	-54	-24	0	0	0	0	0
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											1656	-4634	-2977

Figura 77 - DRC de N01

8.5.2 Nordeste

ND01	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	4	45	8	-58	-108	-164	-90	0	0	0	0	0	0
fev	3	37	0	-91	-161	-260	-205	-18	0	0	0	0	0
mar		45	31	-48	-118	-235	-224	-83	0	0	0	0	0
abr		39	97	40	-6	-106	-141	-58	-11	0	0	0	
mai		35	129	158	106	-12	-53	-16	-26	0	0	0	
jun		9	141	231	208	71	8	32	-2	0	0	0	
jul		30	159	260	242	104	34	49	3	0	0	0	
ago		38	200	249	210	72	14	30	0	0	0	0	
set	0	153	261	204	154	39	0	9	0	0	0	0	
out	31	168	182	96	48	-12	-21	0	0	0	0	0	
nov	44	138	98	20	-4	-43	-22	0	0	0	0	0	0
dez	25	86	41	-14	-41	-79	-12	0	0	0	0	0	0
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											4972	-2543	2429

Figura 78 - DRC de ND01

ND05	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	8	91	15	-118	-215	-320	-182	0	0	0	0	0	0
fev	6	74	-1	-180	-329	-516	-418	-35	0	0	0	0	0
mar		90	64	-96	-232	-482	-451	-176	0	0	0	0	0
abr		78	196	81	-13	-217	-279	-117	-25	0	0	0	0
mai		71	262	321	215	-23	-109	-31	-51	0	0	0	0
jun		18	286	464	420	144	16	66	-4	0	0	0	0
jul		62	321	526	490	205	70	98	6	0	0	0	0
ago		77	405	505	412	147	29	61	0	0	0	0	0
set		0	310	528	414	302	81	0	20	0	0	0	0
out		62	341	368	190	99	-24	-43	0	0	0	0	0
nov		89	280	193	42	-9	-84	-44	0	0	0	0	0
dez		50	169	85	-28	-82	-156	-26	0	0	0	0	0
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										10022	-5116	4906	

Figura 82 - DRC de ND05

ND06	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	6	52	5	-5	-3	0	0	0	0	0	0	0	0
fev	6	54	0	-49	-2	0	-5	0	0	0	0	0	0
mar		73	39	-38	-38	0	-11	-9	0	0	0	0	0
abr		70	140	44	-5	-25	-11	-8	-1	0	0	0	0
mai		69	209	209	109	-7	-11	-3	-6	0	0	0	0
jun		18	245	330	238	62	4	7	-1	0	0	0	0
jul		60	256	343	249	67	7	9	1	0	0	0	0
ago		69	289	271	154	17	1	4	0	0	0	0	0
set		0	250	320	165	50	0	1	0	0	0	0	0
out		59	247	183	52	1	0	-1	0	0	0	0	0
nov		73	161	59	2	0	0	0	0	0	0	0	0
dez		37	79	15	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										5536	-243	5292	

Figura 83 - DRC de ND06

ND07	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	5	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fev	5	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar		55	21	-3	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
abr		57	97	18	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
mai		60	159	135	34	0	0	0	-1	0	0	0	0
jun		16	199	229	104	6	0	1	0	0	0	0	0
jul		52	196	221	78	0	0	1	0	0	0	0	0
ago		56	200	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0
set		0	189	176	12	0	0	0	0	0	0	0	0
out		49	160	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov		53	58	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dez		22	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										2948	-6	2942	

Figura 84 - DRC de ND07

E05	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	18	172	26	-174	-280	-348	-111	0	0	0	0	0	0
fev	9	119	-1	-221	-349	-403	-135	0	0	0	0	0	0
mar		118	74	-96	-199	-286	-82	0	0	0	0	0	0
abr		86	193	69	-9	-96	-23	0	0	0	0	0	0
mai		48	231	244	127	-9	-6	0	0	0	0	0	0
jun		9	245	338	242	54	1	0	0	0	0	0	0
jul		58	287	408	301	84	7	0	0	0	0	0	0
ago		85	398	432	288	67	3	0	0	0	0	0	0
set	0	390	591	390	241	42	0	0	0	0	0	0	0
out	105	511	481	217	94	-15	-8	0	0	0	0	0	0
nov	184	497	312	58	-10	-79	-21	0	0	0	0	0	0
dez	121	349	154	-46	-118	-192	-36	0	0	0	0	0	0
								(+RSP)	(-RSP)	RSPfin			
								9577	-3353	6224			

Figura 94 - DRC de E05

E06	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	16	127	13	-44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fev	8	96	-1	-70	-6	-9	0	0	0	0	0	0	0
mar		101	49	-39	-8	-12	0	0	0	0	0	0	0
abr		79	138	32	-1	-6	0	0	0	0	0	0	0
mai		46	179	136	26	-1	0	0	0	0	0	0	0
jun		9	203	208	66	6	0	0	0	0	0	0	0
jul		56	223	227	62	8	0	0	0	0	0	0	0
ago		78	285	202	30	4	0	0	0	0	0	0	0
set	0	333	386	161	9	2	0	0	0	0	0	0	0
out	101	409	286	69	2	0	0	0	0	0	0	0	0
nov	168	368	158	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dez	103	238	74	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
								(+RSP)	(-RSP)	RSPfin			
								5596	-206	5391			

Figura 95 - DRC de E06

E07	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	13	85	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fev	7	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar		82	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abr		65	89	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mai		40	134	54	1	0	0	0	0	0	0	0	0
jun		8	156	105	4	1	0	0	0	0	0	0	0
jul		49	166	91	3	1	0	0	0	0	0	0	0
ago		64	185	31	1	0	0	0	0	0	0	0	0
set	0	271	231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
out	88	311	146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov	139	245	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dez	84	152	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
								(+RSP)	(-RSP)	RSPfin			
								3294	-1	3293			

Figura 96 - DRC de E07

S05	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	7	40	2	0	0	0	0	0	0	0	-43	-176	-148
fev	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-61
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
out	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
nov	58	93	19	0	0	0	0	0	0	0	-31	-92	-25
dez	49	100	26	-3	0	0	0	0	0	-29	-113	-205	-104
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											423	-1031	-608

Figura 118 - DRC de S05

S06	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-39	-105
fev	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-49
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
out	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
nov	41	20	2	0	0	0	0	0	0	0	-3	-20	-18
dez	34	20	3	0	0	0	0	0	0	-1	-12	-42	-71
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											157	-364	-208

Figura 119 - DRC de S06

S07	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-7	-61
fev	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-28
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
out	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
nov	24	4	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-10
dez	20	4	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-9	-41
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											70	-163	-94

Figura 120 - DRC de S07

SO02	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-148	-318	-211
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-132	-315	-207
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-71	-204	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-21	-70	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-16	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-23	-52	9
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-67	-139	-32
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-131	-245	-120
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											22	-2527	-2506

Figura 127 - DRC de SO02

SO03	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-193	-186
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-216	-176
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-144	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-54	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-14	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-35	7
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-84	-28
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-13	-156	-95
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											16	-1396	-1380

Figura 128 - DRC de SO03

SO04	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-3	-54	-73	-62	-113	-86
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	-18	-47	-40	-23	-22
mar		0	0	0	0	0	0	0	-4	-22	-22	-8	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-6	-1	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	-7	-14	-7	-4	1
nov	0	0	0	0	0	0	0	-7	-33	-41	-28	-49	-13
dez	0	0	0	0	0	0	0	-20	-65	-80	-101	-142	-63
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											1	-1284	-1282

Figura 129 - DRC de SO04

SO05	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-8	-337	-745	-838	-956	-487
fev	0	0	0	0	0	0	0	-4	-153	-568	-747	-893	-436
mar		0	0	0	0	0	0	0	-30	-304	-453	-548	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-73	-152	-179	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-36	-37	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	17	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	-4	8	8	
set		0	0	0	0	0	0	0	-1	-25	-2	-5	
out		0	0	0	0	0	0	-2	-55	-167	-128	-146	18
nov		0	0	0	0	0	0	-22	-204	-422	-382	-418	-73
dez		0	0	0	0	0	0	-63	-342	-664	-661	-737	-276
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										62	-12786	-12724	

Figura 130 - DRC de SO05

SO06	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-40	-337	-662	-432
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	-44	-295	-648	-412
mar		0	0	0	0	0	0	0	-2	-31	-175	-417	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-9	-61	-147	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-14	-34	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	15	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	
set		0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-1	-4	
out		0	0	0	0	0	0	0	-3	-13	-51	-106	17
nov		0	0	0	0	0	0	-1	-7	-23	-154	-290	-65
dez		0	0	0	0	0	0	-1	-9	-26	-280	-487	-237
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										46	-5540	-5494	

Figura 131 - DRC de SO06

SO07	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-389	-353
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-11	-444	-354
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-11	-290	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-7	-111	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-26	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
set		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	
out		0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-73	15
nov		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-170	-53
dez		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-310	-200
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										33	-2829	-2796	

Figura 132 - DRC de SO07

SO08	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-5	-110	-162	-132	-234	-181
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	-38	-86	-67	-51	-45
mar		0	0	0	0	0	0	0	-7	-39	-32	-20	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-8	-3	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	0	0	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	-14	-25	-11	-8	2
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	-14	-66	-92	-60	-102
dez	0	0	0	0	0	0	0	-41	-134	-189	-190	-282	-124
									(+RSP)	(-RSP)		RSPfin	
									3	-2615		-2612	

Figura 133 - DRC de SO08

SO09	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-13	-457	-1001	-1155	-1280	-651
fev	0	0	0	0	0	0	0	-6	-210	-786	-1030	-1196	-583
mar		0	0	0	0	0	0	0	-45	-409	-625	-734	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-102	-205	-240	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-47	-50	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	22	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	-6	10	11	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-34	-3	-7	
out	0	0	0	0	0	0	0	-3	-75	-232	-176	-196	24
nov	0	0	0	0	0	0	0	-34	-276	-568	-526	-560	-98
dez	0	0	0	0	0	0	0	-90	-475	-892	-912	-986	-369
									(+RSP)	(-RSP)		RSPfin	
									83	-17348		-17265	

Figura 134 - DRC de SO09

SO10	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	-23	-199	-627	-998	-603
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	-17	-83	-572	-967	-570
mar		0	0	0	0	0	0	0	-3	-58	-341	-613	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-17	-112	-207	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-25	-46	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	20	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	-1	6	10	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	-2	-6	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-25	-98	-158	24
nov	0	0	0	0	0	0	0	-1	-14	-113	-285	-437	-91
dez	0	0	0	0	0	0	0	-2	-18	-207	-510	-743	-333
									(+RSP)	(-RSP)		RSPfin	
									67	-9139		-9071	

Figura 135 - DRC de SO10

SO11	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-8	-518	-462
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5	-18	-490	-473
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-17	-377	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-9	-147	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-36	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-3	-80	20
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-4	-227	-69
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-387	-262
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										44	-3617	-3573	

Figura 136 - DRC de SO11

SO12	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-6	-104	-170	-151	-313	-262
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	-36	-93	-98	-60	-111
mar		0	0	0	0	0	0	0	-9	-45	-42	-22	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-7	-8	-2	
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0	0	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	-13	-27	-17	-10	5
nov	0	0	0	0	0	0	0	-17	-63	-96	-69	-137	-39
dez	0	0	0	0	0	0	0	-48	-148	-295	-268	-427	-152
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										5	-3371	-3366	

Figura 137 - DRC de SO12

8.5.7 Oeste

O01	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	-10	-84	-332	-572	-569	-573	-267
fev	0	0	0	0	0	0	-5	-90	-355	-618	-624	-640	-274
mar		0	0	0	0	0	-16	-81	-300	-513	-486	-463	0
abr		0	0	0	0	0	-15	-39	-160	-287	-230	-191	
mai		0	0	0	0	0	-6	-8	-69	-139	-81	-51	
jun		0	0	0	0	0	1	12	-4	-26	0	0	
jul		0	0	0	0	0	2	19	6	-7	31	24	
ago		0	0	0	0	0	1	17	-1	-20	12	9	
set	0	0	0	0	0	0	0	15	-9	-39	-2	-4	
out	0	0	0	0	0	0	-11	-10	-82	-161	-100	-100	11
nov	0	0	0	0	0	0	-27	-45	-180	-308	-250	-242	-39
dez	0	0	0	0	0	0	-28	-75	-268	-451	-411	-410	-142
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										160	-11598	-11438	

Figura 138 - DRC de O01

O02	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-128	-291	-433	-245
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-189	-369	-509	-263
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	-199	-308	-387	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	-3	-135	-164	-175	
mai		0	0	0	0	0	0	0	-10	-77	-64	-49	
jun		0	0	0	0	0	0	0	-1	-15	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	1	-4	25	24	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	-9	9	9	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-15	-2	-4	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-49	-59	-79	10
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-69	-128	-183	-36
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-83	-193	-293	-124
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										77	-5345	-5268	

Figura 139 - DRC de O02

O03	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-105	-281	-207
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-191	-392	-224
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-21	-189	-321
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-29	-113	-148
mai		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-31	-46	-42
jun		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8	0	0
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	-2	18	20	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	-2	6	7	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-1	-3	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-31	-61	9
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-46	-119	-30
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-59	-184	-104
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											60	-2989	-2929

Figura 140 - DRC de O03

O04	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-59	-257	-495	-471	-429	-165
fev	0	0	0	0	0	0	0	-39	-189	-432	-516	-563	-224
mar		0	0	0	0	0	0	-24	-84	-267	-329	-379	0
abr		0	0	0	0	0	0	-8	-26	-91	-110	-125	
mai		0	0	0	0	0	0	-1	-7	-19	-24	-23	
jun		0	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	2	1	-1	9	11	
ago		0	0	0	0	0	0	3	0	-6	6	6	
set	0	0	0	0	0	0	0	4	-2	-20	-2	-3	
out	0	0	0	0	0	0	0	-4	-43	-113	-83	-88	9
nov	0	0	0	0	0	0	0	-32	-139	-267	-207	-181	-24
dez	0	0	0	0	0	0	0	-63	-240	-376	-313	-276	-76
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											53	-7920	-7867

Figura 141 - DRC de O04

O05	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	-20	-171	-660	-1123	-1152	-1160	-540
fev	0	0	0	0	0	0	-10	-175	-727	-1215	-1262	-1288	-554
mar		0	0	0	0	0	-31	-163	-614	-1007	-985	-937	0
abr		0	0	0	0	0	-30	-78	-327	-582	-465	-386	
mai		0	0	0	0	0	-11	-16	-141	-282	-164	-103	
jun		0	0	0	0	0	1	27	-8	-53	0	1	
jul		0	0	0	0	0	3	37	12	-14	62	50	
ago		0	0	0	0	0	2	34	-3	-41	25	19	
set		0	0	0	0	0	0	30	-18	-76	-5	-9	
out		0	0	0	0	0	-22	-20	-168	-317	-202	-201	22
nov		0	0	0	0	0	-54	-93	-358	-606	-506	-491	-78
dez		0	0	0	0	0	-56	-153	-532	-886	-832	-831	-287
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										326	-23297	-22971	

Figura 142 - DRC de O05

O06	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-285	-585	-858	-494
fev	0	0	0	0	0	0	0	-4	-13	-386	-751	-1031	-538
mar		0	0	0	0	0	0	-7	-23	-644	-801	0	0
abr		0	0	0	0	0	0	-5	-34	-271	-332	-353	
mai		0	0	0	0	0	0	-2	-29	-157	-127	-100	
jun		0	0	0	0	0	0	3	-2	-32	0	1	
jul		0	0	0	0	0	0	4	3	-8	48	48	
ago		0	0	0	0	0	0	2	0	-19	18	17	
set		0	0	0	0	0	0	1	-1	-31	-3	-7	
out		0	0	0	0	0	0	0	-3	-101	-120	-161	21
nov		0	0	0	0	0	0	0	0	-154	-257	-363	-72
dez		0	0	0	0	0	0	0	0	-172	-398	-568	-246
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										166	-10962	-10796	

Figura 143 - DRC de O06

O07	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-217	-572	-407
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-384	-784	-466
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-385	-652	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	-1	-42	-216	-291	
mai		0	0	0	0	0	0	0	-1	-63	-95	-87	
jun		0	0	0	0	0	0	1	0	-16	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	0	-3	36	42	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	-3	11	14	
set		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-6	
out		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-61	-122	18
nov		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-95	-242	-59
dez		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-109	-361	-200
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										124	-5942	-5818	

Figura 144 - DRC de O07

O08	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-120	-517	-985	-977	-853	-347
fev	0	0	0	0	0	0	0	-75	-383	-831	-1004	-1143	-433
mar		0	0	0	0	0	0	-48	-199	-508	-654	-737	0
abr		0	0	0	0	0	0	-15	-59	-183	-230	-248	
mai		0	0	0	0	0	0	-2	-17	-38	-51	-48	
jun		0	0	0	0	0	0	3	-1	-4	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	5	1	-2	19	23	
ago		0	0	0	0	0	0	7	0	-13	12	12	
set		0	0	0	0	0	0	9	-6	-38	-3	-7	
out		0	0	0	0	0	0	-8	-88	-217	-161	-178	17
nov		0	0	0	0	0	0	-65	-281	-531	-429	-361	-50
dez		0	0	0	0	0	0	-129	-480	-756	-623	-548	-152
								(+RSP)		(-RSP)			RSPfin
								109		-15840			-15730

Figura 145 - DRC de O08

O09	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	-28	-240	-914	-1510	-1541	-1553	-723
fev	0	0	0	0	0	0	-13	-245	-977	-1676	-1690	-1721	-741
mar		0	0	0	0	0	-43	-220	-825	-1389	-1318	-1254	0
abr		0	0	0	0	0	-42	-105	-440	-779	-622	-517	
mai		0	0	0	0	0	-15	-22	-190	-377	-219	-138	
jun		0	0	0	0	0	2	36	-11	-70	0	1	
jul		0	0	0	0	0	5	52	16	-19	84	66	
ago		0	0	0	0	0	3	46	-3	-54	33	25	
set		0	0	0	0	0	0	41	-24	-104	-7	-11	
out		0	0	0	0	0	-30	-27	-225	-437	-270	-268	29
nov		0	0	0	0	0	-74	-130	-496	-815	-677	-657	-105
dez		0	0	0	0	0	-77	-208	-737	-1191	-1114	-1112	-384
								(+RSP)		(-RSP)			RSPfin
								439		-31427			-30988

Figura 146 - DRC de O09

O10	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-2	-38	-686	-995	-1239	-669
fev	0	0	0	0	0	0	0	-8	-160	-834	-1177	-1463	-723
mar		0	0	0	0	0	0	-13	-190	-768	-987	-1127	0
abr		0	0	0	0	0	0	-10	-140	-474	-499	-478	
mai		0	0	0	0	0	0	-3	-81	-258	-182	-134	
jun		0	0	0	0	0	0	6	-5	-50	0	1	
jul		0	0	0	0	0	0	7	7	-13	69	65	
ago		0	0	0	0	0	0	4	-1	-33	27	23	
set		0	0	0	0	0	0	2	-6	-58	-5	-10	
out		0	0	0	0	0	0	-1	-37	-217	-188	-228	29
nov		0	0	0	0	0	0	-1	-21	-370	-437	-524	-97
dez		0	0	0	0	0	0	0	0	-480	-691	-861	-346
								(+RSP)		(-RSP)			RSPfin
								240		-18018			-17778

Figura 147 - DRC de O10

O11	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-293	-786	-513
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-663	-1046	-600
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-517	-762	0
abr		0	0	0	0	0	0	-1	-1	-71	-252	-367	
mai		0	0	0	0	0	0	0	-2	-112	-111	-112	
jun		0	0	0	0	0	0	1	0	-21	0	1	
jul		0	0	0	0	0	0	1	0	-6	42	54	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	-5	13	18	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-7	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-106	-163	24
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-129	-333	-74
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-212	-450	-272
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										154	-7989	-7835	

Figura 148 - DRC de O11

O12	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	-172	-609	-1223	-1249	-968	-439
fev	0	0	0	0	0	0	0	-83	-524	-1062	-1369	-1377	-600
mar		0	0	0	0	0	0	-42	-278	-620	-815	-1016	0
abr		0	0	0	0	0	0	-11	-59	-349	-265	-314	
mai		0	0	0	0	0	0	-3	-16	-36	-90	-56	
jun		0	0	0	0	0	0	3	-1	-5	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	6	1	-2	35	27	
ago		0	0	0	0	0	0	5	0	-24	14	15	
set	0	0	0	0	0	0	0	8	-8	-47	-4	-9	
out	0	0	0	0	0	0	0	-9	-121	-277	-219	-214	24
nov	0	0	0	0	0	0	0	-93	-330	-660	-548	-409	-64
dez	0	0	0	0	0	0	0	-149	-597	-964	-711	-687	-157
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										139	-19956	-19817	

Figura 149 - DRC de O12

8.5.8 Noroeste

NO01	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	-10	-113	-294	-412	-378	-338	-137
fev	0	0	0	0	0	0	-84	-205	-417	-577	-502	-446	-171
mar		0	0	0	0	-20	-148	-224	-445	-566	-457	-384	0
abr		0	0	0	0	-33	-118	-118	-274	-365	-247	-181	
mai		0	0	0	12	-5	-48	-28	-132	-196	-96	-53	
jun		0	0	1	29	30	7	53	-8	-40	0	0	
jul		0	0	0	22	38	27	80	12	-10	38	26	
ago		0	0	0	0	21	11	57	-2	-26	13	9	
set	0	0	0	0	0	7	0	34	-12	-41	-2	-3	
out	0	0	0	0	0	0	-22	-16	-85	-140	-76	-66	6
nov	0	0	0	0	0	0	-22	-48	-149	-212	-159	-136	-19
dez	0	0	0	0	0	0	-4	-67	-193	-288	-235	-217	-64
										(+RSP)	(-RSP)	RSPfin	
										536	-10587	-10051	

Figura 150 - DRC de NO01

NO02	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-101	-186	-109
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-129	-236	-319	-157
mar		0	0	0	0	0	0	0	-63	-219	-270	-306	0
abr		0	0	0	0	0	0	-13	-95	-201	-177	-159	
mai		0	0	0	0	0	-3	-9	-67	-132	-77	-51	
jun		0	0	0	0	0	1	23	-4	-28	0	0	
jul		0	0	0	0	0	2	24	6	-7	30	25	
ago		0	0	0	0	0	0	6	-1	-14	10	8	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-16	-1	-3	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-31	-36	-47	6
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-42	-75	-15
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-25	-84	-43
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											142	-3555	-3413

Figura 151 - DRC de NO02

NO03	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-62	-78
fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-72	-200	-140
mar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-140	-235	0
abr		0	0	0	0	0	0	0	0	-82	-121	-141	
mai		0	0	0	0	0	0	0	-19	-84	-59	-44	
jun		0	0	0	0	0	0	1	-2	-19	0	0	
jul		0	0	0	0	0	0	0	2	-4	23	22	
ago		0	0	0	0	0	0	0	0	-6	7	7	
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	
out	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-30	5
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-25	-11
dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-26
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											67	-1614	-1547

Figura 152 - DRC de NO03

NO04	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	-8	-97	-150	-103	-51	-23	-2
fev	0	0	0	0	0	-2	-48	-171	-289	-266	-101	-23	0
mar		0	0	0	0	-6	-58	-164	-357	-334	-167	-51	0
abr		0	0	0	0	-7	-32	-69	-237	-276	-128	-57	
mai		0	0	0	1	-1	-9	-15	-105	-169	-68	-28	
jun		0	0	0	3	3	1	25	-6	-35	0	0	
jul		0	0	0	2	5	5	41	10	-9	27	14	
ago		0	0	0	0	4	3	33	-2	-20	7	3	
set	0	0	0	0	0	2	0	25	-10	-24	-1	0	
out	0	0	0	0	0	0	-12	-13	-59	-65	-15	-3	0
nov	0	0	0	0	0	0	-17	-42	-76	-53	-21	-9	0
dez	0	0	0	0	0	0	-2	-52	-80	-62	-26	-17	-1
											(+RSP)	(-RSP)	RSPfin
											216	-4404	-4189

Figura 153 - DRC de NO04

NO08	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	-16	-189	-290	-196	-89	-49	-5
fev	0	0	0	0	0	-4	-96	-345	-594	-499	-187	-49	-1
mar		0	0	0	0	-13	-112	-340	-709	-672	-341	-106	0
abr		0	0	0	0	-14	-60	-146	-472	-531	-274	-127	
mai		0	0	0	3	-1	-18	-28	-201	-346	-137	-56	
jun		0	0	0	6	8	2	49	-12	-73	0	0	
jul		0	0	0	4	10	10	78	19	-18	54	28	
ago		0	0	0	0	9	6	70	-4	-38	15	6	
set	0	0	0	0	0	4	0	52	-20	-49	-2	-1	
out	0	0	0	0	0	0	-25	-26	-121	-121	-28	-7	0
nov	0	0	0	0	0	0	-34	-81	-146	-101	-38	-20	-1
dez	0	0	0	0	0	0	-5	-102	-155	-122	-61	-25	-4
									(+RSP)	(-RSP)		RSPfin	
									434	-8755		-8321	

Figura 157 - DRC de NO08

NO09	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	-30	-322	-789	-1135	-999	-916	-371
fev	0	0	0	0	0	-15	-234	-549	-1148	-1525	-1360	-1208	-465
mar		0	0	0	0	-62	-414	-616	-1175	-1533	-1239	-1040	0
abr		0	0	0	0	-91	-324	-324	-742	-988	-669	-492	
mai		0	0	0	35	-13	-131	-77	-358	-530	-261	-145	
jun		0	0	0	83	82	18	144	-21	-107	0	1	
jul		0	0	0	62	103	75	217	33	-28	103	72	
ago		0	0	0	3	58	31	156	-6	-71	36	24	
set	0	0	0	0	0	21	0	94	-33	-112	-6	-9	
out	0	0	0	0	0	-1	-60	-42	-235	-371	-206	-178	17
nov	0	0	0	0	0	0	-66	-138	-399	-584	-420	-369	-51
dez	0	0	0	0	0	0	-13	-196	-540	-792	-647	-587	-173
									(+RSP)	(-RSP)		RSPfin	
									1468	-28749		-27280	

Figura 158 - DRC de NO09

NO10	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
jan	0	0	0	0	0	0	0	0	-21	-322	-492	-620	-321
fev	0	0	0	0	0	0	-6	0	-233	-677	-865	-950	-443
mar		0	0	0	0	-5	-15	-76	-443	-843	-875	-889	0
abr		0	0	0	0	-8	-18	-108	-385	-638	-536	-455	
mai		0	0	0	6	-2	-44	-39	-222	-396	-221	-141	
jun		0	0	0	15	22	8	84	-14	-85	0	1	
jul		0	0	0	10	13	25	109	21	-21	87	70	
ago		0	0	0	0	5	2	52	-3	-46	29	23	
set	0	0	0	0	0	2	0	12	-12	-62	-4	-8	
out	0	0	0	0	0	0	-1	0	-48	-165	-131	-140	16
nov	0	0	0	0	0	0	0	0	-11	-166	-207	-250	-44
dez	0	0	0	0	0	0	0	-1	-19	-101	-263	-347	-139
									(+RSP)	(-RSP)		RSPfin	
									611	-13603		-12992	

Figura 159 - DRC de NO10

8.6 Diagramas de Integração das Variáveis. Agrupações por caso em todas as orientações.

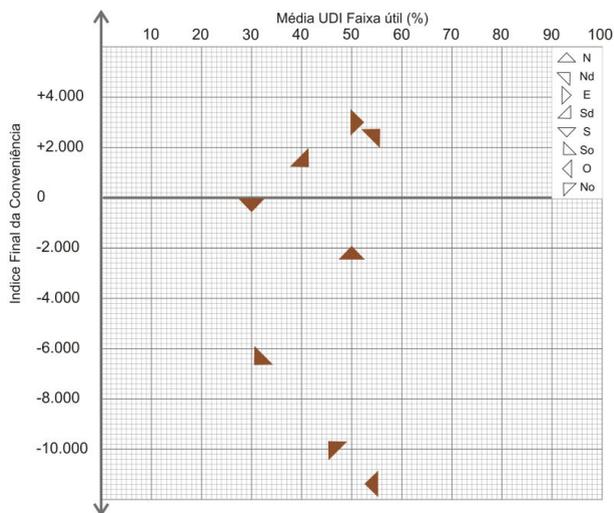


Figura 162 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 01

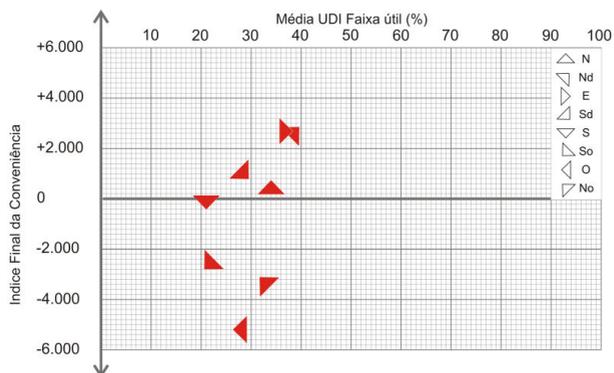


Figura 163 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 02

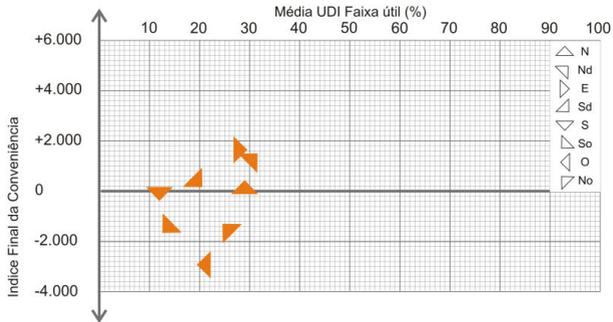


Figura 164 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 03

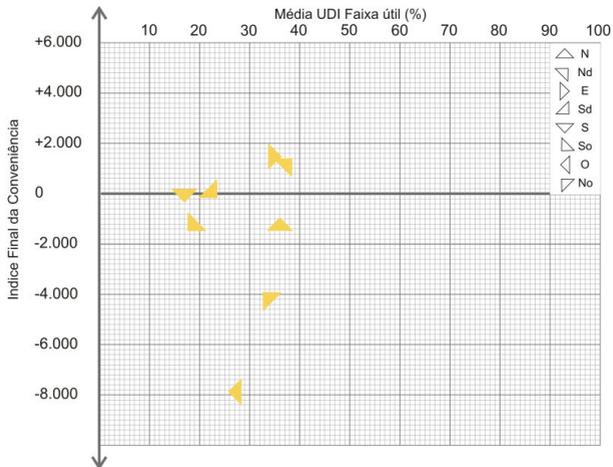


Figura 165 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 04

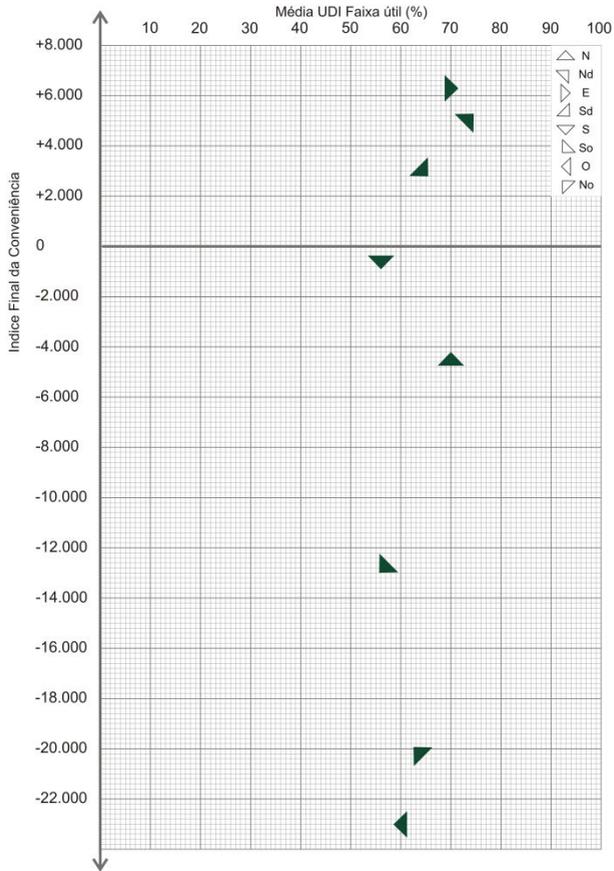


Figura 166 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 05

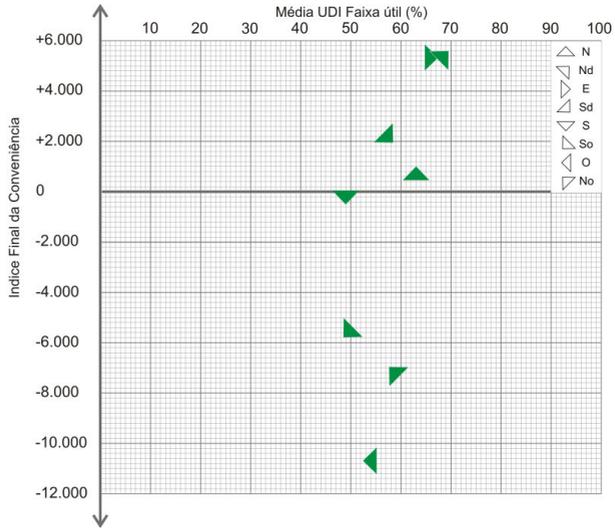


Figura 167 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 06

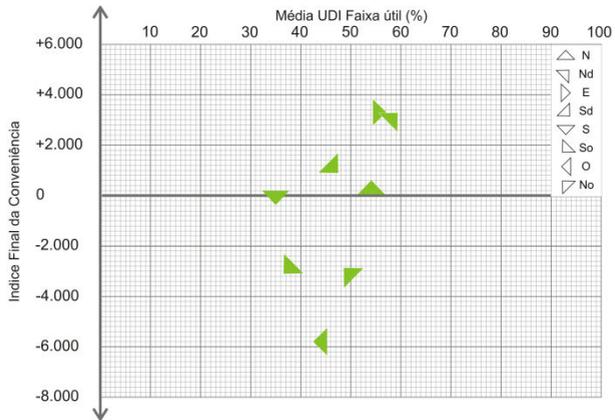


Figura 168 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 07

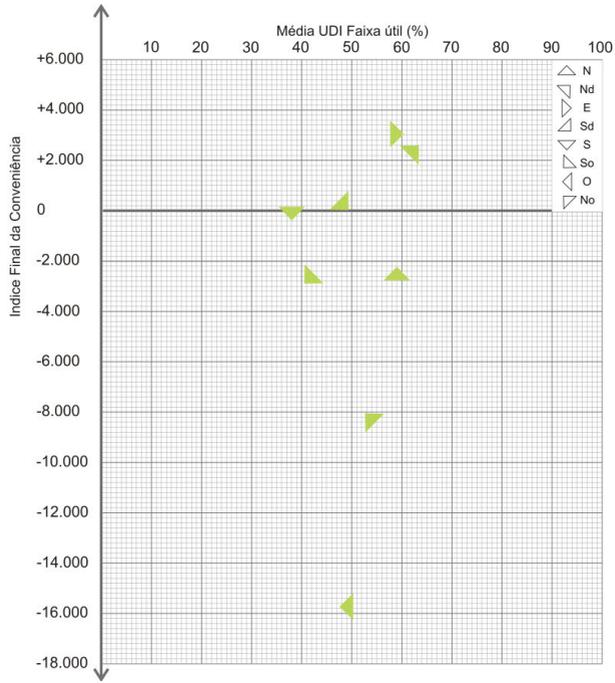


Figura 169 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 08

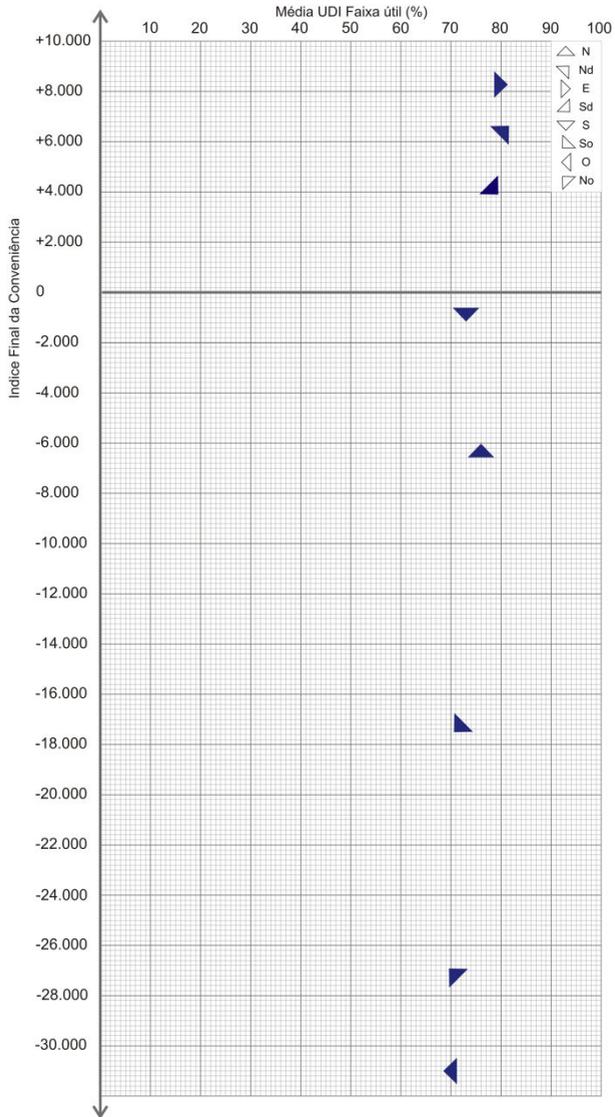


Figura 170 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 09

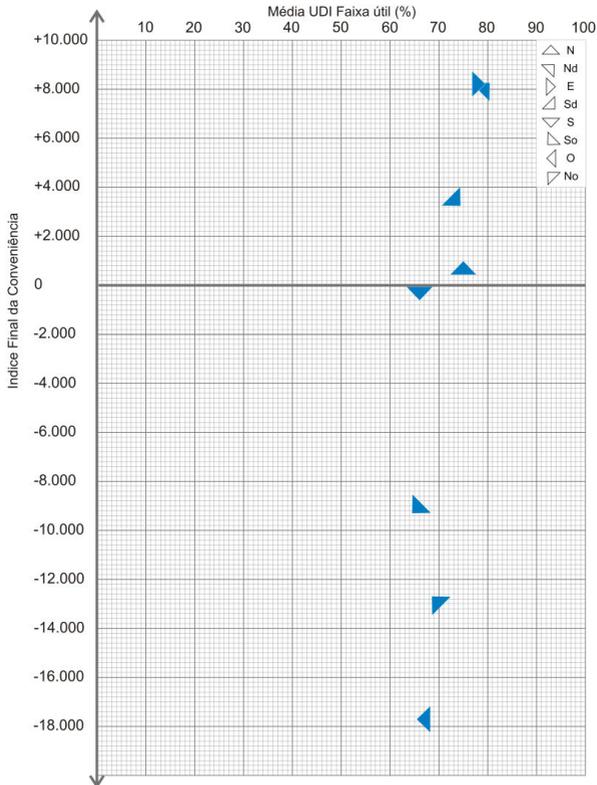


Figura 171 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 10

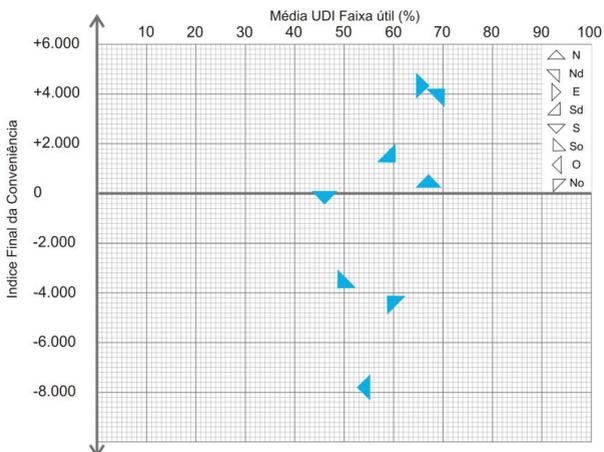


Figura 172 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 11

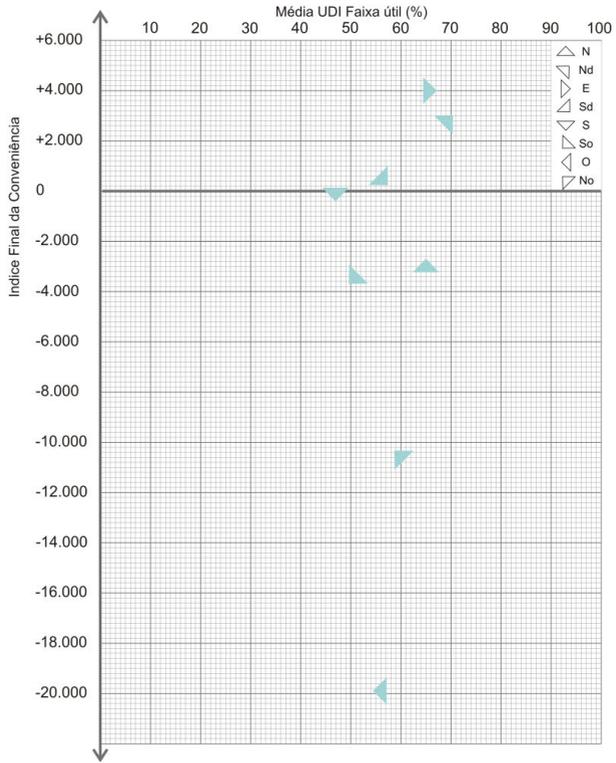


Figura 173 - Diagrama de Integração das Variáveis. Caso 12

