

**USO DE INÉRCIA TÉRMICA
NO CLIMA SUBTROPICAL
ESTUDO DE CASO EM FLORIANÓPOLIS – SC**

Ana Lígia Papst

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lamberts

Florianópolis, março de 1999.

PAPST, Ana Lúcia. *Uso de Inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC.* Florianópolis, 1999. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Roberto Lamberts

Defesa: 30/03/99

Verificação do uso de Inércia Térmica em edificações residenciais para o clima de Florianópolis – SC como uma estratégia bioclimática a ser adotada durante todo o ano. Três edificações residenciais tiveram suas temperaturas internas monitoradas hora a hora durante 9 meses. Os dados de temperatura foram analisados através de gráficos de distribuição de temperatura, amplitude térmica, amortecimento térmico, atraso térmico, carta bioclimática de Givoni, grau médio e horas acima ou abaixo de determinadas temperaturas. A análise dos dados indicou que o uso de inércia térmica tem um bom desempenho térmico tanto no período quente quanto no período frio em fechamentos laterais. Caso a cobertura possua inércia térmica é necessário evitar o ganho térmico decorrente da radiação solar, seja por barreiras radiantes ou isolamento térmico.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação Defendida e Aprovada em 30/03/1999,
Pela comissão examinadora

Prof. Dr. Roberto Lamberts – Orientador – Moderador

Prof. Fernando Oscar Rutkay Pereira, PhD - Membro

Prof. Maurício Roriz, Dr -Membro

Prof. Saulo Güths, Dr -Membro

Silvia M. Corrêa, Dra -Membro

Prof. Dr. Roberto de Oliveira – Coordenador do CPGEC

Agradecimentos

Ao Roberto Lamberts que orientou este trabalho com sua competência e tranquilidade.

Aos colegas do LabEEE, aos colegas do Labcon e aos colegas de Mestrado que de alguma forma me ajudaram.

Ao LabSolar, na pessoa do Eng. Samuel Luna de Abreu, que com toda presteza forneceu os dados climáticos.

Às famílias Pereira, Lamberts e Antunes da Silva por me cederem suas residências e um pouco de sua privacidade para realização das medições.

A equipe da imobiliária do Residencial Pagnani pelo seu interesse em colaborar com este trabalho.

À sociedade que propiciou a bolsa de estudos, e os equipamentos necessários a realização desta pesquisa.

À Denise e seus familiares pelo seu carinho e atenção em todos os momentos.

Aos amigos e parentes que souberam entender minha ausência e minha falta de paciência.

Aos amigos, que apesar da distância, ajudaram-me e muito, e às vezes sem sabê-lo.

Ao Samuel pela compreensão e apoio nos momentos oportunos.

Resumo

O objetivo deste trabalho é verificar a hipótese de que o uso de inércia térmica em edificações residenciais na cidade de Florianópolis - SC, que possui clima com verão quente e úmido e freqüentes entradas de frentes frias, é uma importante estratégia bioclimática durante todo o ano. O clima de Florianópolis plotado sobre a carta bioclimática de Givoni apresenta como as principais estratégias bioclimáticas o uso de massa térmica com aquecimento solar passivo para o inverno, e ventilação no período quente. A metodologia usada para verificar esta hipótese foi através de medições horárias de temperatura de bulbo seco em três edificações durante 9 meses. Estas edificações diferem em sua forma, orientação, uso e em seus fechamentos laterais e cobertura tanto em transmitância térmica quanto em capacidade térmica. Os dados foram analisados através de gráficos de distribuição de temperatura, amplitude térmica, amortecimento térmico, atraso térmico, carta bioclimática de Givoni, grau médio e horas acima ou abaixo de determinadas temperaturas estipuladas para análise. A análise dos dados coletados indicou que a inércia térmica além de ser uma estratégia importante para o inverno também tem efeito positivo no verão quando usado em fechamentos laterais da edificação. Caso a cobertura possua inércia térmica, é mais importante evitar o ganho térmico decorrente da radiação solar, seja por barreiras radiantes, seja pelo uso de isolamento térmico.

Abstract

This work aims to verify that thermal inertia in residential buildings is an important bioclimatic strategy for passive cooling of buildings in Florianópolis which has a hot and humid summer, and frequent cold front. Givoni's bioclimatic chart shows that the most important bioclimatic strategies for Florianópolis are: thermal mass with passive solar heating in winter and ventilation in summer. The methodology used in this work consists of measurements of dry bulb temperature during nine months in three buildings, which have different shape, orientation, domestic uses, and different thermal characteristics in their walls and roofs. The dry bulb temperature was analysed in six different ways: graphs of temperature distribution, thermal amplitude, thermal storage, thermal time-lag, Givoni's bioclimatic chart, average degree hour and total hours above and below determined base temperatures. The results indicate that thermal inertia in walls produces benefits in summer and in winter. If the roof has thermal inertia it is important to avoid solar radiation using roof insulation, or roof radiant barrier insulation.

Sumário

1. Introdução.....	001
2. Revisão Bibliográfica.....	004
2.1. Bioclimatologia.....	004
2.1.1. Arquitetura Bioclimática.....	004
2.1.2. Clima de Florianópolis.....	005
2.1.3. Carta Bioclimática x Ano Climático de Referência.....	006
2.2. Principais Conceitos e Propriedades Relacionados com inércia térmica e isolamento Térmico.....	008
2.2.1. Inércia Térmica.....	008
2.2.1.1. Atraso Térmico.....	009
2.2.1.2. Capacidade de Amortecimento.....	011
2.2.2. Calor Específico e Capacidade Calorífica Volumétrica.....	011
2.2.3. Difusividade Térmica.....	012
2.2.4. Efusividade Térmica.....	013
2.3. Uso de Inércia Térmica como sistema de resfriamento passivo.....	013
2.4. Edificações com Inércia térmica x uso.....	018
2.5. Uso de Inércia Térmica em clima quente e úmido.....	019
3. Metodologia.....	023
3.1. Estudo de Caso.....	023
3.1.1. Verificação da Dispersão dos Valores Medidos.....	023
3.1.2. Os Objetos de Estudo.....	024
3.1.2.1. Residência 1.....	026
3.1.2.2. Residência 2.....	031
3.1.2.3. Residência 3.....	036
3.1.2.4. Casa 4.....	042
3.1.3. Propriedade Térmica da Envoltória das Edificações Monitoradas.....	044
3.2. Período das medições.....	049
3.3. Apresentação dos dados medidos.....	049
3.3.1. Gráfico de distribuição de temperaturas.....	049
3.3.2. Gráfico de amplitude térmica diária.....	049
3.3.3. Atraso Térmico diário.....	049
3.3.4. Amortecimento Térmico Diário.....	050
3.3.5. Somatório de Graus Hora.....	050
3.3.6. Carta Bioclimática.....	050
4. Apresentação dos Resultados.....	052
4.1. Caracterização do clima no período das medições.....	052
4.2. Resultados Encontrados.....	055
4.2.1. Residência 1.....	056
4.2.1.1. Distribuição de TBS diária.....	056
4.2.1.2. Gráfico de Amplitudes Diárias.....	060
4.2.1.3. Amortecimento Térmico.....	064
4.2.1.4. Atraso Térmico.....	068
4.2.1.5. Somatório de Graus Hora.....	072

4.2.1.6. Carta Bioclimática.....	082
4.2.2. Residência 2.....	083
4.2.2.1. Distribuição de TBS diária.....	083
4.2.2.2. Gráfico de Amplitudes Diárias.....	087
4.2.2.3. Amortecimento Térmico.....	088
4.2.2.4. Atraso Térmico.....	088
4.2.2.5. Somatório de Graus Hora.....	098
4.2.2.6. Carta Bioclimática.....	105
4.2.3. Residência 3.....	106
4.2.3.1. Distribuição de TBS diária.....	106
4.2.3.2. Gráfico de Amplitudes Diárias.....	110
4.2.3.3. Amortecimento Térmico.....	114
4.2.3.4. Atraso Térmico.....	118
4.2.3.5. Somatório de Graus Hora.....	118
4.2.3.6. Carta Bioclimática.....	130
4.2.4. Casa 4.....	131
4.2.4.1. Distribuição de TBS diária.....	131
4.2.4.2. Gráfico de Amplitudes Diárias.....	134
4.2.4.3. Amortecimento Térmico.....	134
4.2.4.4. Atraso Térmico.....	134
4.2.4.5. Somatório de Graus Hora.....	134
4.2.4.6. Carta Bioclimática.....	143
5. Análise dos dados.....	144
5.1. Propriedades Térmicas das Edificações.....	144
5.2. Carta Bioclimática de Givoni.....	145
5.3. Medições in loco.....	148
5.3.1. Edificações com medições de TBS Residências 1, 2 e 3.....	149
5.3.2. Medição de TBS Casa 4.....	152
5.4. Somatório de Graus Hora.....	153
5.4.1. Residência 1.....	153
5.4.2. Residência 2.....	154
5.4.3. Residência 3.....	155
5.4.4. Casa 4.....	157
6. Conclusão.....	158
6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros.....	162
7. Referências Bibliográficas.....	163

Lista de Figuras

Figura 2.1	Dados Climáticos de Florianópolis plotados sobre a carta Bioclimática adaptada de Givoni.....	007
Figura 3.1	Data Logger HOBO.....	023
Figura 3.2	Verificação da dispersão de temperaturas em ambiente isolado termicamente.....	024
Figura 3.3	Ilha de Florianópolis + Continente. Localização das edificações.....	025
Figura 3.4	Foto aérea Canto da Lagoa situando os terrenos das Residências 1 e 2....	026
Figura 3.5	Residência 1 – Fachada Frontal.....	027
Figura 3.6	Planta Baixa Pavimento Garagem Residência 1.....	027
Figura 3.7	Planta Baixa Pavimento Térreo Residência 1.....	028
Figura 3.8	Planta Baixa Pavimento Superior Residência 1.....	029
Figura 3.9	Planta Baixa Pavimento Sótão Residência 1.....	029
Figura 3.10	Detalhe construtivo da alvenaria externa - Residência 1.....	030
Figura 3.11	Corte Esquemático Residência 1.....	031
Figura 3.12	Residência 2 – Fachada Frontal.....	032
Figura 3.13	Planta Baixa Pavimento Garagem Residência 2.....	033
Figura 3.14	Planta Baixa Pavimento Térreo Residência 2.....	033
Figura 3.15	Planta Baixa Pavimento Superior Residência 2.....	034
Figura 3.16	Detalhe construtivo da alvenaria externa - Residência 2.....	034
Figura 3.17	Detalhe construtivo da cobertura - Residência 2.....	035
Figura 3.18	Corte Esquemático Residência 2.....	036
Figura 3.19	Foto aérea Lagoa da Conceição, situando o terreno da Residência 3.....	036
Figura 3.20	Planta Baixa Pavimento Térreo Residência 3.....	038
Figura 3.21	Planta Baixa Pavimento Superior Residência 3.....	039
Figura 3.22	Detalhe construtivo da cobertura - Residência 3.....	039
Figura 3.23	Detalhe construtivo da alvenaria 1 - Residência 3.....	039
Figura 3.24	Detalhe construtivo da alvenaria 2 - Residência 3.....	040
Figura 3.25	Residência 3 – Fachada Frontal.....	040
Figura 3.26	Corte Esquemático Residência 3.....	041
Figura 3.27	Casa 4 – Fachada Frontal e Lateral.....	042
Figura 3.28	Detalhe Construtivo Parede- Casa 4.....	043
Figura 3.29	Detalhe Construtivo Cobertura- Casa 4.....	043
Figura 3.30	Planta Baixa Pavimento Térreo Casa 4.....	044
Figura 4.1	Distribuição de média diária de TBS - período 01/04/1998 a 31/12/1998 Fonte: Labsolar - UFSC.....	052
Figura 4.2	Umidade Relativa média diária de Florianópolis período 01/04/1998 a 31/12/1998. Fonte: Labsolar - UFSC.....	053
Figura 4.3	Radiação Global diária - período 01/04/1998 a 31/12/1998.....	054
Figura 4.4	Média mensal da Radiação Global diária anos de 1994 a 1998.....	054
Figura 4.5	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 1 – período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	057
Figura 4.6	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 1 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	058

Figura 4.7	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 1 – período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	059
Figura 4.8	Amplitudes Térmicas Residência 1 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	061
Figura 4.9	Amplitudes Térmicas Residência 1 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	062
Figura 4.10	Amplitudes Térmicas Residência 1 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	063
Figura 4.11	Amortecimento térmico Residência 1 - período 05/05/1998 a 15/05/1998.....	065
Figura 4.12	Amortecimento térmico Residência 1 - período 20/06/1998 a 30/06/1998.....	066
Figura 4.13	Amortecimento térmico Residência 1 - período 15/11/1998 a 25/11/1998.....	067
Figura 4.14	Atraso Térmico Residência 1 - período 05/05/1998 a 15/05/1998.....	069
Figura 4.15	Atraso Térmico Residência 1 - período 20/06/1998 a 30/06/1998.....	070
Figura 4.16	Atraso Térmico Residência 1 - período 15/11/1998 a 25/11/1998.....	071
Figura 4.17	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 29°C - Residência 1.....	073
Figura 4.18	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 27°C - Residência 1.....	074
Figura 4.19	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 25°C - Residência 1.....	075
Figura 4.20	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 23°C - Residência 1.....	076
Figura 4.21	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 21°C - Residência 1.....	077
Figura 4.22	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C - Residência 1.....	078
Figura 4.23	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 17°C - Residência 1.....	079
Figura 4.24	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 15°C - Residência 1.....	080
Figura 4.25	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 2 – período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	084
Figura 4.26	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 2 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	085
Figura 4.27	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 2 – período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	086
Figura 4.28	Amplitudes Térmicas Residência 2 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	089
Figura 4.29	Amplitudes Térmicas Residência 2 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	090
Figura 4.30	Amplitudes Térmicas Residência 2 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	091
Figura 4.31	Amortecimento Térmico Residência 2 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	092

Figura 4.32	Amortecimento Térmico Residência 2 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	093
Figura 4.33	Amortecimento Térmico Residência 2 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	094
Figura 4.34	Atraso Térmico Residência 2 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	095
Figura 4.35	Atraso Térmico Residência 2 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	096
Figura 4.36	Atraso Térmico Residência 2 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	097
Figura 4.37	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 27°C - Residência 2.....	099
Figura 4.38	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 25°C - Residência 2.....	100
Figura 4.39	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 23°C - Residência 2.....	101
Figura 4.40	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 21°C - Residência 2.....	102
Figura 4.41	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C - Residência 2.....	103
Figura 4.42	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 17°C - Residência 2.....	104
Figura 4.43	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 3 – período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	107
Figura 4.44	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 3 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	108
Figura 4.45	Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 3 – período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	109
Figura 4.46	Amplitudes Térmicas Residência 3 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	111
Figura 4.47	Amplitudes Térmicas Residência 3 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	112
Figura 4.48	Amplitudes Térmicas Residência 3 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	113
Figura 4.49	Amortecimento Térmico Residência 3 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	115
Figura 4.50	Amortecimento Térmico Residência 3 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	116
Figura 4.51	Amortecimento Térmico Residência 3 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	117
Figura 4.52	Atraso Térmico Residência 3 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.....	119
Figura 4.53	Atraso Térmico Residência 3 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.....	120
Figura 4.54	Atraso Térmico Residência 3 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.....	121
Figura 4.55	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 29°C - Residência 3.....	122
Figura 4.56	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 27°C - Residência 3.....	123
Figura 4.57	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 25°C - Residência 3.....	124

Figura 4.58	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 23°C - Residência 3.....	125
Figura 4.59	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 21°C - Residência 3.....	126
Figura 4.60	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C - Residência 3.....	127
Figura 4.61	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 17°C - Residência 3.....	128
Figura 4.62	Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 15°C - Residência 3.....	129
Figura 4.63	Distribuição de TBS e Radiação Global Casa 4 – período 20.09.1998 a 30.09.1998.	132
Figura 4.64	Distribuição de TBS e Radiação Global Casa 4 – período 20.10.1998 a 30.10.1998.	133
Figura 4.65	Distribuição de Amplitudes Casa 4 – período 20.09.1998 a 30.09.1998..	134
Figura 4.66	Distribuição de Amplitudes Casa 4 – período 20.10.1998 a 30.10.1998..	135
Figura 4.67	Distribuição de Amortecimento Térmico Casa 4 – período 20.09.1998 a 30.09.1998.....	137
Figura 4.68	Distribuição de Amortecimento Térmico Casa 4 – período 20.10.1998 a 30.10.1998.....	138
Figura 4.69	Distribuição de Atraso Térmico Casa 4 – período 20.09.1998 a 30.09.1998.....	139
Figura 4.70	Distribuição de Atraso Térmico Casa 4 – período 20.10.1998 a 30.10.1998.....	140
Figura 4.71	Distribuição quantidade de horas e grau médio no mês de setembro nas bases de 25°C a 15°C - Casa 4.....	141
Figura 4.72	Distribuição quantidade de horas e grau médio no mês de outubro nas bases de 29°C a 17°C - Casa 4.....	142
Figura 5.1	Frequência de Temperaturas nos Dormitórios das Residências 1, 2 e 3 no período de abril a dezembro de 1998.....	148

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Percentagem das estratégias indicadas para o clima de Florianópolis, obtido pelo software Analysis 2.....	007
Tabela 3.1	Propriedades térmicas e taxas da envoltória das edificações monitoradas.....	045
Tabela 3.2	Efusividade térmica Ambientes Internos Residência 1.....	047
Tabela 3.3	Efusividade térmica Ambientes Internos Residência 2.....	047
Tabela 3.4	Efusividade térmica Ambientes Internos Residência 3.....	047
Tabela 3.5	Efusividade térmica Ambiente Interno Casa 4.....	047
Tabela 4.1	Resultado do relatório do Analysis por ambiente Residência 1.....	082
Tabela 4.2	Resultado do relatório do Analysis por ambiente Residência 2.....	105
Tabela 4.3	Resultado do relatório do Analysis por ambiente Residência 3.....	131
Tabela 4.4	Resultado do relatório do Analysis por ambiente Casa 4.....	143
Tabela 5.1	Média e Desvio Padrão dos Resultado do relatório do Analysis por edificação.....	146

Lista de Símbolos

Símbolo	Conceito	Unidade
g.m.	: Grau médio, razão somatório de graus hora pela quantidade de horas acima ou abaixo da base de temperatura usada	°C
h.	: Quantidade de horas acima ou abaixo das bases de temperatura usadas para análise de somatório de graus hora	h
ϕ	: Atraso térmico	h
λ	: Condutividade térmica	W/(m.K)
ρ	: Densidade de massa aparente	Kg/m ³
C_T	: capacidade térmica	KJ/(m ² .K)
α	: Difusividade térmica	m ² /s
ef	: Efusividade térmica	Ws ^{0.5} /(m ² .K)

1 Introdução

A arquitetura bioclimática baseia-se na correta aplicação de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas para consumir-se menos energia, otimizando o conforto de seus ocupantes.

Uma destas estratégias arquitetônicas é o uso de inércia térmica, que normalmente é empregada em: clima desértico, clima pouco frio e em ambientes comerciais condicionados artificialmente. Em clima desértico aproveita-se a diminuição da temperatura externa noturna para o resfriamento da massa térmica da edificação, e durante o dia, quando ocorre o aumento da temperatura externa, mantêm-se a edificação fechada, evitando-se o ganho de calor externo. Em clima pouco frio, os materiais construtivos armazenam o ganho de calor solar e o ganho de calor interno durante o dia, e evitam que a edificação perca com facilidade o calor para o exterior no período noturno. Em ambientes comerciais, aproveita-se o resfriamento noturno da envoltória para diminuir o consumo de energia de equipamentos de ar condicionado durante o dia.

O conceito de inércia térmica está relacionado com a capacidade térmica da estrutura por unidade de superfície, que é o produto da densidade pela espessura e pelo calor específico do material. Muitos autores costumam usar o conceito “thermal mass” em seus trabalhos, e este conceito refere-se a combinação da densidade e da espessura do material, pois o calor específico dos materiais de construção (inorgânicos) encontram-se na faixa de 0.87 a 1.67 kJ/kg.K, e conseqüentemente a capacidade térmica dos componentes das edificações é fortemente dependente do peso da estrutura (massa térmica).

Nessa dissertação o termo massa térmica será usado sempre que a referência bibliográfica empregar “thermal mass”.

O local da realização deste trabalho é a cidade de Florianópolis. O clima desta cidade tem as estações do ano bem definidas, e é marcado pelas constantes entradas de frentes frias. As frentes frias e a própria localização geográfica, faz com que o clima desta cidade mostre-se constantemente úmido e com quedas bruscas de temperatura durante todo o ano. As estratégias arquitetônicas e bioclimáticas devem atender tanto ao clima quente quanto ao clima frio, e que mostra-se úmido em todas as estações.

Na dissertação de mestrado realizada por ANDRADE (1996), encontra-se as principais estratégias bioclimáticas recomendadas para edificações residenciais na cidade de Florianópolis – SC. ANDRADE plotou os dados climáticos de Florianópolis sobre a carta bioclimática de Givoni e fez medições em duas edificações residenciais nesta cidade. As principais estratégias indicadas pela Carta Bioclimática foram massa térmica com aquecimento solar passivo para o inverno, e ventilação no verão. Plotando-se o clima de Florianópolis sobre a carta bioclimática de Givoni, surgem dúvidas quanto ao uso de massa térmica nas edificações, pois ele é apenas recomendado para o período frio. Os resultados das medições de ANDRADE (1996) demonstraram que além dos métodos indicados pela carta bioclimática de Givoni para o clima de Florianópolis, o uso da estratégia de massa térmica na edificação pode ser útil para resfriamento passivo.

O uso da inércia térmica em edificações além de amortecer os pico de temperatura externa, proporciona um atraso no pico máximo e mínimo na temperatura interna. O uso de inércia térmica em ambientes comerciais pode fazer com que o pico de temperatura interna máximo ocorra num período posterior, normalmente o noturno, quando não há ocupação. Já para ambientes residenciais, este pico de temperatura pode ocorrer quando a edificação está tendo sua maior ocupação. Por este motivo a preocupação do desempenho térmico do uso da inércia térmica em ambientes residenciais, pois o horário onde a edificação melhora as condições internas pode ser o

horário de menor uso, sendo que o pior desempenho térmico pode ocorrer no horário de maior ocupação (noturno).

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais em uso com diferentes envoltórias no clima de Florianópolis. Neste trabalho não pretende-se isolar as diversas variáveis que influenciam na temperatura interna, ao contrário, pretende-se caracterizar o desempenho da edificação em função da temperatura interna. Por isso mediu-se as temperaturas internas em edificações em uso com diferenças de inércia térmica em seus fechamentos laterais e coberturas, sem interferir no seu funcionamento, durante o período de nove meses. O desempenho das edificações são apresentados neste trabalho apenas em três períodos: quente, meia estação e frio.

A hipótese em que se baseia este trabalho é a de que a inércia térmica é uma estratégia importante junto com o uso de aquecimento solar passivo no período frio, e com o uso de ventilação noturna é uma importante estratégia de resfriamento passivo no período quente de Florianópolis, clima este, marcado pelas entradas de frentes frias.

Para alcançar o objetivo, inicia-se na Revisão Bibliográfica mostrando uma análise rápida da bioclimatologia e do clima de Florianópolis, assim como caracteriza-se a inércia térmica e seu uso. No capítulo posterior demonstra-se a metodologia usada para as edificações residenciais monitoradas. Após a metodologia apresenta-se os resultados encontrados e faz-se uma discussão dos mesmos. E finalmente apresenta-se a conclusão da presente pesquisa, e as sugestões para trabalhos que possam vir a ser desenvolvidos.

Os aspectos subjetivos de conforto ou desconforto dos ocupantes numa edificação não são discutidos neste trabalho, apenas o desempenho térmico da edificação.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Bioclimatologia

2.1.1 Arquitetura Bioclimática

O processo de concepção de uma edificação que leva em conta a arquitetura bioclimática, segundo OLGYAY e OLGYAY (1973), seguem quatro passos: o estudo das variáveis climáticas, os efeitos do clima no ser humano, soluções tecnológicas e por último a expressão arquitetônica.

Na ASHRAE (1992) encontra-se que o conforto térmico é “um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”.

A bioclimatologia é a ciência que estuda a climatologia aplicada com relação aos seres vivos. Ou seja, a interação do ambiente, seus fatores e elementos climáticos, com as sensações térmica dos seres vivos. A arquitetura bioclimática pode ser definida como aquela que “fazendo uso da tecnologia que se baseia na correta aplicação dos elementos arquitetônicos, com o intuito de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico, com pequeno consumo energético”.

O estudo do conforto térmico através da arquitetura bioclimática encontra-se bastante desenvolvido. Cartas bioclimáticas permitem através do clima externo plotado sobre a carta, chegar as estratégias arquitetônicas mais adequadas para uma determinada localidade. No trabalho de GOULART et al. (1994), definiu-se a carta de Givoni (GIVONI – 1992), como a melhor para o clima brasileiro, mas algumas alterações foram implementadas, baseados em estudos mais precisos de outros pesquisadores, como o trabalho de GONZALEZ et alli (1986) e WATSON e LABS (1983).

Uma análise mais aprofundada sobre bioclimatologia e cartas bioclimáticas pode ser encontrada em GOULART et al. (1994) e em ANDRADE (1996).

Antes de analisar os resultados dos dados climáticos de Florianópolis plotados na Carta Bioclimática de Givoni, será feita uma descrição do clima desta cidade.

2.1.2 Clima de Florianópolis – SC

Quatro fatores ajudam a definir o clima de uma região: latitude, continentalidade, massas de ar, e radiação.

Florianópolis é uma ilha próxima ao continente, localizada entre os paralelos 27°10' e 27°50' de latitude sul e entre os meridianos 48°25' e 48°35' de longitude oeste, e encontra-se a 7 m da altura do mar.

A entrada de frentes frias vindas do sul são constantes durante todo o ano em Santa Catarina. O Atlas Escolar de Santa Catarina (GAPLAN: 1991) explica que no sul do Brasil há a presença de duas massas de ar: a Massa Tropical Atlântica que atua o ano inteiro, principalmente primavera e verão; e a Massa Polar Atlântica, atuando principalmente no outono e inverno. O contato entre as duas massas proporciona a boa distribuição de chuvas durante todo o ano. A Massa Tropical Atlântica caracteriza-se pelos ventos do quadrante norte e apresenta-se com elevadas temperaturas e forte umidade. A Massa Polar Atlântica, originária da zona Subantártica, caracteriza-se por ventos do quadrante sul e por temperaturas baixas. O encontro das duas Massas de Ar forma a Frente Polar Atlântica, resultando em chuvas com a passagem desta frente em direção ao norte. Após a passagem desta Frente o tempo torna-se estável, com temperaturas mais baixas.

Três fontes de caracterização e tratamento de dados climáticos de Florianópolis são a seguir descritas: a do Atlas de Santa Catarina (GAPLAN), a do ano climático de referência (TRY) definido por GOULART (1997), e a de NIMER (1979).

Os dados climáticos de 1961 a 1970 obtidos no aeroporto Hercílio Luz, sofreram tratamento e análises estatísticas de forma a obter-se o ano que melhor retrata-se o clima da cidade de Florianópolis. Desta análise feita por GOULART (1993), chegou-se ao ano climático de referência (TRY) de Florianópolis. Estes dados climáticos resumidos e tabelados são encontrados em GOULART et al. (1997). Vale salientar que estes dados são referentes a medições feitas no Aeroporto Hercílio Luz, e os valores de temperatura podem apresentar pequenas diferenças para outros micro-climas, e os ventos predominantes podem sofrer alterações em sua direção e velocidade em função da topografia diversificada da ilha, além da própria urbanização.

Segundo o Atlas de Santa Catarina (GAPLAN: 1986) a temperatura média mensal de janeiro é de 23°C, e em julho de 15°C. Já em GOULART (1997), onde foi analisado o

ano climático de referência (TRY), a maior temperatura média mensal foi de 24.5°C e ocorreu no mês de fevereiro, e a temperatura mais baixa foi de 16.6°C no mês de julho. Florianópolis apresenta valores de umidade relativa anual de 85% segundo o Atlas de Santa Catarina (GAPLAN: 1986), em GOULART (1997) este valor é de 83%. Na análise de temperatura e umidade, os valores médios são próximos. O fato da umidade relativa ser alta em Florianópolis se deve aos totais pluviométricos mensais altos, e a frequência de chuva todos os meses. Conforme as INMET (1992) a precipitação anual de Florianópolis em 1969 foi de 1543.9mm. Estes dados caracterizam o clima de Florianópolis como mesotérmico e úmido (GAPLAN: 1986).

Em GOULART et al. (1997), pode-se observar que Florianópolis apresenta sete meses com valores médio mensais de temperatura de bulbo seco acima de 20°C, e a umidade relativa média nestes meses oscila de 81 a 85%. O horário de ocorrência das temperaturas máximas diárias é entre 13:00 h. e 14:00 h., e o das temperaturas mínimas diárias é entre 5:00 h. e 7:00 h. A média anual de amplitudes diárias ficou em 7.8°C. A frequência mensal de direção do vento apresenta a direção norte como predominante, a direção sul em segundo lugar, seguida em terceiro lugar pelo vento nordeste. A velocidade média anual de velocidade do vento é de 3.5 m/s, e a direção sul apresenta a maior frequência por direção para velocidades do vento maior que 10 m/s.

A caracterização do clima para NIMER (1979) da maior parte do litoral Catarinense, incluindo Florianópolis, é de clima subquente, com a temperatura média anual superior a 20°C e com um inverno ameno. A temperatura média inferior oscila no mês mais frio entre 15°C e 18°C, e a temperatura média de janeiro entre 24°C e 26°C. Este clima é uma transição entre o clima tropical quente das latitudes baixas do Brasil, e temperado mesotérmico das latitudes médias da região Sul, acaba sendo um prolongamento climático da região Sudeste.

2.1.3 Carta Bioclimática x Ano Climático de Referência

O programa Analysis Bio 2, desenvolvido na UFSC, permite que os dados de temperatura e umidade relativa sejam plotados sobre a carta bioclimática adaptada de Givoni, e calcula a porcentagem de horas do ano em que encontra-se em conforto ou não, e qual estratégia mais apropriada para alcançar a sensação de conforto.

O arquivo anual de dados, de temperatura de bulbo seco e umidade relativa, usado como entrada de dados no programa Analysis Bio foi o ano climático de referência definido por GOULART (1993).

A figura 2.1 mostra os dados climáticos de Florianópolis plotados sobre a carta bioclimática de Givoni através do software Analysis Bio 2.

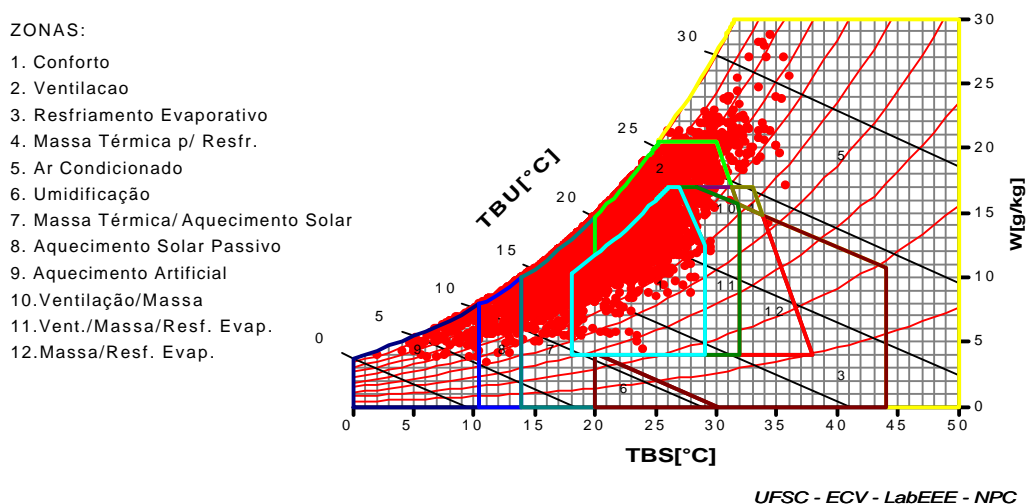


Figura 2.1 Dados Climáticos de Florianópolis plotados sobre a carta Bioclimática adaptada de Givoni.

Os relatórios de saída do programa Analysis Bio indicam que 21% do ano há condições de conforto, 40.8% do ano há desconforto por frio, restando 38.2% do ano de desconforto por calor. A tabela abaixo mostra as principais estratégias indicadas alcançar o conforto no clima de Florianópolis – SC.

Tabela 2.1 - Percentagem das estratégias indicadas para o clima de Florianópolis, obtido pelo software Analysis 2.

Sensação	Estratégia	% horas
Desconforto por Calor	Ventilação	36.5%
	Resfriamento Evaporativo	0.89%
	Massa Térmica para Resfriamento	0.94%
	Ar Condicionado	1.68%
Desconforto por Frio	Massa Térmica +Aquecimento Solar	35.4%
	Aquecimento Solar	3.84%
	Aquecimento Artificial	1.53%

Os resultados indicam predominantemente o uso da ventilação para alcançar o conforto devido a sensação de calor, e para evitar o desconforto por frio, usar massa térmica para aquecimento. Já a indicação do uso de massa térmica para resfriamento não chega a 1%. Estes resultados podem deixar dúvidas no projetista quanto ao solução bioclimática ideal a ser considerada para um local que apresente duas estações climáticas bastante distintas.

2.2 Principais conceitos e propriedades relacionados com inércia térmica e isolamento térmico

2.2.1 *Inércia Térmica*

O uso da inércia térmica na edificação ajuda no atraso e na diminuição dos picos de calor externos. Como citam YANNAS e MALDONADO (1995), o fato de armazenar calor dentro da estrutura da edificação, funciona como um dissipador de calor, evitando a oscilação e os picos durante o dia, e dissipando o calor mais tarde. Inércia térmica é a capacidade de uma edificação de armazenar e liberar calor. Uma edificação com pouca inércia segue muito próxima a variação da temperatura externa, e com uma inércia infinita, a temperatura interna permaneceria constante. A necessidade de grande inércia térmica aumenta quanto maior a variação da temperatura externa, radiação solar e ou ganhos de calor. A razão entre o calor absorvido e o calor armazenado nos materiais da edificação dependem da capacidade térmica do material que compõe a envoltória. A capacidade térmica por unidade de superfície é o produto da densidade pela espessura e pelo calor específico dos seus componentes.

O conceito de massa térmica refere-se a combinação da densidade e da espessura do material, pois se o calor específico dos materiais de construção (inorgânicos) encontram-se na faixa de 0.87 a 1.67 KJ/Kg.K, a capacidade térmica dos componentes das edificações é quase completamente dependente do peso da estrutura. A massa térmica das edificações pode estar contida em paredes, partições internas, pisos, coberturas, desde que constituídos de material com grande capacidade térmica como concreto, tijolos, telhas, etc.

Nessa dissertação, o termo massa térmica aparece quando este termo é empregado na referência bibliográfica.

Em locais onde o ganho de calor é desejável parte do ano, caso de Florianópolis, a inércia térmica terá diferentes papéis nos períodos quentes e frios, e para edifícios condicionados artificialmente ou não.

Ligados à inércia térmica dois parâmetros são os mais relevantes: o atraso térmico e a capacidade de amortecimento.

2.2.1.1 Atraso Térmico

O atraso ou retardo térmico (ϕ), segundo RIVERO (1986), é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida num dos meios para manifestar-se na superfície oposta do fechamento. O atraso depende dos parâmetros que intervêm no processo de transmissão de calor por condução em regime variável, ou seja, a condutividade térmica (λ), o calor específico (c), a densidade absoluta (d), e a espessura (l).

Em GHISI e LAMBERTS (1998a) encontra-se que o atraso térmico “é o tempo que transcorre entre os momentos de ocorrência da temperatura máxima do ar no exterior e no interior da edificação quando se verifica um fluxo de calor através de um componente construtivo submetido a uma variação periódica da temperatura do ar no exterior.(...) O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas.”

O atraso térmico em uma placa homogênea, com espessura “e” e submetida à um regime térmico com período de 24 horas, pode ser estimado através de duas expressões segundo GHISI e LAMBERTS (1998b):

$$\phi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\tilde{n} \cdot c}{3,6 \cdot \dot{e}}} \quad (2.1)$$

$$\phi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} \quad (2.2)$$

onde

ϕ : é o atraso térmico (horas);

e : é a espessura da placa (m);

λ : é a condutividade térmica do material (W/(m.K));

ρ : é a densidade de massa aparente do material (kg/m^3);

c : é o calor específico do material ($\text{kJ}/(\text{kg}.\text{K})$);

R_t : é a resistência térmica de superfície a superfície do componente ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$);

C_T : é a capacidade térmica do componente ($\text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$).

Para componentes formados por diferentes camadas paralelas perpendiculares ao fluxo de calor, o atraso térmico é determinado pela expressão

$$\varphi = 1,382.R_t.\sqrt{B_1 + B_2} \quad (2.3)$$

onde

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície do componente ($(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$);

B_1 é dado pela equação 2.4;

B_2 é dado pela equação 2.5.

$$B_1 = 0,226.\frac{B_0}{R_t} \quad (2.4)$$

onde

B_0 é dado pela equação 2.6.

$$B_2 = 0,205.\left(\frac{(\lambda.\rho.c)_{\text{ext}}}{R_t}\right)\left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10}\right) \quad (2.5)$$

Se $B_2 < 0$ então usar $B_2 = 0$.

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} \quad (2.6)$$

onde

C_T é a capacidade térmica total do componente ($\text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$);

C_{Text} é a capacidade térmica da camada externa do componente ($\text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$).

2.2.1.2 Capacidade de amortecimento

A capacidade de amortecimento é a propriedade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas. RIVERO (1986) define o coeficiente de amortecimento (μ) como a relação entre a amplitude da temperatura superficial interna de um fechamento (ω_s) pela amplitude da temperatura do ambiente externo (θ_s):

$$m = \frac{w_s}{q_s} \quad (2.7)$$

Para o coeficiente de amortecimento (μ), em regimes cíclicos e temperaturas internas constantes, o valor será sempre menor que 1, e quanto menor for seu valor maior será a capacidade de amortecimento do fechamento.

2.2.2 Calor Específico e Capacidade Calorífica Volumétrica

A transmitância térmica de um componente de uma edificação não é um bom parâmetro para analisar o desempenho térmico de uma edificação em condições climáticas transientes, onde há variação da temperatura externa e da radiação. Pois parte do ganho de calor externo ganho durante o dia é armazenado na massa térmica dos elementos que compõe a envoltória da edificação, e somente parte do calor é transmitido para dentro da edificação. Tanto o tempo de atraso, quanto o amortecimento do calor transmitido são função das características térmicas do material e da sua espessura.

O calor específico (c) define a quantidade de calor necessária para elevar em um grau a temperatura de um componente, por unidade de massa. Sua unidade é o J/kg K ou Wh/kgK. Segundo YANNAS e MALDONADO (1995), a diferença de capacidade de armazenamento de calor entre materiais é revelada quando se analisa a capacidade calorífica volumétrica.

A capacidade calorífica volumétrica, mede a capacidade de o material armazenar energia térmica. Em INCROPERA e DE WITT (1992) encontra-se que a capacidade calorífica volumétrica é o produto entre a densidade (ρ) e o calor específico (c), sua unidade é J/m³K.

Para exemplificar, citam YANNAS e MALDONADO (1995) o caso de um concreto denso que tem a capacidade calorífica volumétrica acima de 0.480 kWh/m³K, comparado com materiais de isolamento que estão na faixa de 0.003-0.012 kWh/m³K, ou seja uma laje de concreto de 10 cm de espessura tem uma capacidade de armazenamento de calor de 0.048 kWh/mK por m² de superfície, enquanto um isolamento de mesma espessura tem menos de 0.001 kWh/mK. A água é um importante meio de armazenamento de calor, sua capacidade calorífica volumétrica é duas vezes maior que o concreto, e a temperatura de 20°C, possui um valor de 1.16 kWh/m³K.

Uma comparação entre o concreto e o poliestireno expandido, os dois com espessuras necessárias para que suas resistências térmicas sejam as mesmas foi feita por RIVERO (1986). Esta mostra que o concreto requer 3.900 vezes mais calor que o poliestireno para uma mesma elevação de suas temperaturas. E comenta que esta propriedade é que diferencia tão acentuadamente os fechamentos considerados, e isto é que provoca comportamentos desiguais em regime variável.

2.2.3 Difusividade Térmica (a)

Em YANNAS e MALDONADO (1995), encontra-se que difusividade térmica é a razão da condutividade térmica pela capacidade calorífica do material, sua unidade é m²/s.

$$a = \frac{k}{r.c_p} \quad (2.8)$$

O tempo que leva para que a temperatura da superfície alcance uma certa profundidade é dado pela expressão:

$$t = \frac{d^2}{a} \quad (2.9)$$

onde d é a profundidade e a a difusividade térmica.

Geralmente a difusividade é alta para materiais de condutividade térmica alta e capacidade de armazenamento de calor baixa. Para os materiais de construção mais comuns, o valor da difusividade térmica é na faixa de 5×10^{-7} m²/s. A madeira tem um valor três vezes menor, já o metal tem o valor de difusividade cerca de cem vezes maior que a madeira.

INCROPERA (1992) e DE WITT citam que esta propriedade mede a relação entre a capacidade do material conduzir energia térmica e a sua capacidade em acumular energia térmica.

2.2.4 Efusividade térmica

A efusividade térmica caracteriza como facilmente o calor pode ser absorvido pela superfície do material, um exemplo é a sola do pé tocando uma superfície a 20°C, a sensação de frio no pé caracteriza material de alta efusividade, a sensação de morno, material com baixa efusividade térmica. A efusividade tende a ser alta quando, tanto a condutividade térmica quanto a capacidade de armazenamento de calor específico são altas.

A efusividade térmica é a raiz quadrada do produto da condutividade pela capacidade térmica volumétrica, sua unidade é $Ws^{0.5}/m^2K$.

$$ef = \sqrt{l.r.c} \quad (2.10)$$

YANNAS e MALDONADO (1995) citam um trabalho experimental feito pelo projeto PASCOOL, que encontrou que a inércia térmica de um quarto pode ser caracterizado pela efusividade térmica média obtida pela média ponderada da efusividade térmica das superfícies em volta. Sendo uma propriedade da superfície, caracteriza a capacidade térmica “efetiva” melhor que outras propriedades.

2.3 Uso de Inércia Térmica como sistema de resfriamento passivo

Através do armazenamento de calor nos materiais construtivos da edificação é possível reduzir a temperatura interna e os picos da carga de resfriamento, transferindo-a para um horário posterior. Segundo SANTAMOURIS (1996) o uso de inércia térmica tem efeito positivo tanto no verão como no inverno. No inverno, o ganho solar durante o dia é armazenado na massa térmica, e transferido para dentro da edificação no período noturno, quando é necessário o aquecimento. No verão, o calor é armazenado na massa térmica, reduzindo o pico das cargas de resfriamento. O calor é liberado para o interior da edificação, com um tempo de atraso, há uma mudança no horário de pico da carga de resfriamento, e uma redução deste valor. E comparando edificações com pouca e muita inércia térmica para meia-estação (outono e primavera), observou que edificações leves podem precisar de aquecimento para uma parte do dia e resfriamento para outra parte do

dia. Já edificações com inércia térmica não apresentam esta variabilidade, e dependendo das condições externas, podem apresentar condições internas confortáveis.

O estudo do uso de inércia térmica para diminuir os picos e as cargas de energia elétrica gasta para resfriamento artificial, tem mostrado bons resultados.

GOODWIN, S. e M. CATANI (1979) investigaram o efeito da massa térmica e a necessidade de isolamento para edificações em diferentes climas dos Estados Unidos através do programa NBSLD do National Bureau of Standards. Os estudos indicaram que uma parede com muita massa tende a provocar uma grande redução percentual na energia gasta para resfriamento em localidades geográficas que tem um verão moderado, e esta redução é menor, quando há ganhos de calor internos. Numa parede com isolamento térmico e massa térmica, a redução na energia para resfriamento é mais efetiva se a massa térmica da parede for localizada no lado interno do ambiente. Nesta mesma parede, o aumento da resistência térmica na camada de isolamento torna a massa térmica menos efetiva, podendo aumentar as cargas de resfriamento artificial. Na investigação do efeito da inércia térmica na cobertura, concluiu que, quanto mais baixa a latitude menor o efeito da massa térmica para resfriamento, e para altas latitudes onde a amplitude da temperatura externa oscila muitas vezes nas estações quentes, a massa se torna mais efetiva. E numa pesquisa em edificações com o mesmo valor de resistência térmica, mas com diferentes inércias térmicas, as edificações cujas paredes e coberturas tinham mais massa térmica, reduziram mais as cargas de resfriamento. Esta análise em edifícios residenciais mostrou não haver uma redução nas cargas de resfriamento.

Em outra pesquisa feita por HOPKINS et al. (1979) foi estudado o desempenho de duas edificações com diferentes massas térmicas, uma com muita massa térmica e outra com pouca massa térmica. As simulações foram feitas com o programa E CUBE 75, desenvolvido pela American Gas Association. O estudo mostrou que a massa térmica tem um papel mensurável no desempenho térmico da edificação. Entretanto, a diferença no consumo de energia total entre a construção leve e pesada é uma percentagem pequena. E quando as edificações são usadas em climas ou padrões onde o aquecimento é o principal fator, isolamento térmico irá predominar como um fator efetivo no envelope. Em climas ou padrões que requeiram resfriamento somente, massa térmica pode reduzir o consumo de energia desde que a edificação não seja usada à noite e o atraso da carga solar possa ser

dissipado neste período. Numa análise final, aparenta que tanto massa térmica e isolamento são importantes no desempenho térmico da edificação, mas seus méritos relativos devem ser decididos para cada edificação proposta, através da análise do layout, seu horário de ocupação, cargas internas, sombreamento externo, e o clima onde a edificação será construída.

Em contraposição, RUDOY e DOUGALL (1979), mostraram resultados diferentes através do uso de uma série de simulações usando o programa NBSLD do National Bureau of Standards. O objetivo do trabalho era validar o efeito da parede externa da construção sobre os parâmetros dos picos de carga e energia requerida para aquecimento e resfriamento de uma edificação residencial unifamiliar. Os resultados encontrados foram que o uso de massa pesada não atenua o pico da carga de resfriamento. Mudanças no valor da transmitância térmica da parede externa não afetam a carga e a energia de resfriamento tanto como afetam a carga e a energia de aquecimento.

Nos resultados dos estudos feitos por DEXTER (1980) a economia de energia devida ao uso de massa, é maior em climas onde a temperatura está em grande parte do ano dentro da zona de conforto. Isto é, locais com clima ameno e com longas estações quentes.

Sobre condições climáticas típicas de deserto, KUSUDA e BEAN (1981) fizeram uma série de testes para comparar cargas de resfriamento calculadas com as temperaturas internas medidas em uma edificação com muita massa térmica. Esta foi testada em uma câmara que simula as condições climáticas. As simulações foram feitas com o programa NBSLD, e validaram os resultados medidos na câmara. Para o clima típico de deserto, os autores encontraram o resultado de que o uso de massa térmica com resfriamento noturno tem uma eficiência energética maior do que o resfriamento durante todo o dia.

Numa outra pesquisa, onde foram feitas medições para os diversos climas de verão dos Estados Unidos, encontrou-se resultados favoráveis ao uso de massa térmica. BURCH et al. (1984) fizeram uso de seis edificações de um único ambiente, piso e tetos isolados, mesma carga interna, mesmas dimensões, aberturas e orientação, exceto pela diferença na construção das paredes, que foram de diferentes materiais, mas com resistências térmicas aproximadamente equivalentes. Foram feitas duas séries de medições, uma com a temperatura interna a 18°C (simular condições extremas de verão), e outra com temperatura interna a 24°C (condições normais de verão). Para o primeiro ajuste de temperatura interna

(18°C), as medições experimentais tenderam a obedecer a teoria do regime permanente, onde o efeito da massa térmica não é importante quando exposta a condições extremamente quentes. Um fator que contribuiu para a ausência do efeito de massa térmica foi o declínio gradual da temperatura externa durante o período das medições. Quando a parte experimental foi feita com a edificação a temperatura interna a 24 °C, não houve declínio na temperatura externa média. A temperatura externa a noite foi suficientemente baixa para fazer a temperatura interna cair abaixo da temperatura de setpoint. Nas edificações pesadas observou-se um menor consumo de energia de resfriamento do que em edificações leves (com equivalente resistência térmica nas paredes). O efeito da massa térmica mostrou-se importante para a maioria dos climas de verão dos Estados Unidos. E com o uso de ventilação noturna, conseguiu-se grande economia nas edificações pesadas em comparação com as leves. A massa térmica foi mais efetiva quando posicionada no lado interno do que no externo em paredes com isolamento térmico.

A principal característica de um bom desempenho térmico em uma edificação nas estações frias é um bom isolamento. Pois este reduzirá as perdas de calor do lado interno para o lado externo e conseqüentemente reduzirá o uso de energia. As principais características de um bom desempenho térmico em uma edificação nas estações quentes são menos fáceis de identificar.

COUSINS e LANG (1996) comentam que a temperatura interna num castelo ou catedral, no pico do verão é menor que a temperatura externa. E as contas de aquecimento dos mesmos tendem a ser altas. A baixa temperatura interna em castelos e catedrais no período de verão, é devido a mais importante propriedade de construções com massa térmica, a alta capacidade térmica. Edificações podem ter alta capacidade térmica, ou tendo bastante massa, ou sendo feito de um material com alta capacidade térmica. Para conseguir o maior benefício com o uso de massa térmica para resfriamento em períodos quentes, é necessário que a massa seja resfriada, pois o fluxo de calor ocorre quando há diferença de temperatura. Neste sentido, dois cenários foram propostos para dois escritórios, os dois com o uso de ar condicionado durante o dia, e a noite com e sem ventilação noturna. A sala com muita massa e ventilação noturna dava as menores cargas, enquanto a mesma sala sem ventilação noturna apresentava as maiores cargas. Isto mostra, segundo os autores, que a capacidade de transferir calor da massa para o ar é mais importante do que a presença de

massa. E para as características de um escritório moderno, há vantagens limitadas em aumentar a espessura de uma parede de concreto além de 10cm, para em um espaço que está submetido a um ciclo de variação de temperatura de 24 horas.

Também em SANTAMOURIS e ASIMAKOPOLOUS (1996) encontra-se que 5 a 10 cm de espessura de parede é usado para absorção de calor, armazenamento e liberação numa base diária. Paredes mais espessas, acima de 25 cm, podem garantir longos períodos de armazenamento térmico. O isolamento externo pode ser usado, sendo que é necessário o contato térmico da massa com o espaço interno. Estruturas com inércia térmica são menos suscetíveis ao efeito de infiltração de ar, pois o calor é armazenado na massa e não no ar.

2.4 Edificações com inércia térmica x uso

O uso de inércia térmica com o propósito de evitar a entrada e calor do meio externo, ou seja em climas quentes, deve ter um correto gerenciamento do uso da edificação. Os ocupantes tem influência direta no efeito da inércia térmica, suas ações podem aumentar a temperatura interna acima do limite de conforto, quando permitem a entrada de radiação e ventitam a edificação quando a temperatura externa é mais alta que a interna. YANNAS e MALDONADO (1995) sugerem que para ambientes ocupados só durante a noite, a baixa inércia térmica é benéfica, pois resulta em altas temperaturas durante o dia, e temperaturas confortáveis durante a noite. Já SZOKOLAY (1981) sugere uma edificação híbrida onde há ocupação durante todo o dia. Ou seja, parte com massa térmica onde há ocupação diurna, cozinha, jantar, estar, e parte da edificação com massa leve com ventilação noturna onde há ocupação apenas no período noturno.

Para um bom resultado do uso de inércia térmica, é necessário que haja um gerenciamento na edificação quanto a permitir ou não a entrada do ar externo. SZOKOLAY (1980) apud DE WALL (1993) sugere que a diferença entre a temperatura interna e a externa tem de ser no mínimo de 3°C para persuadir as pessoas a manter as janelas fechadas, e não ventilar o ambiente mais que o necessário. Entretanto a preferência psicológica de um ambiente ventilado pode ser maior do que a vantagem da redução da temperatura interna (SZOKOLAY/1996).

Um dos maiores ganhos de calor está associado ao ganho da radiação solar. Um atraso térmico diferenciado para as diferentes orientações do envelope da edificação,

dependendo da quantidade de incidência solar, colabora no atraso do pico máximo de temperatura interna. Nas recomendações a seguir as orientações norte e sul foram trocadas, para que o texto esteja coerente com a localização geográfica de Florianópolis - SC.

O atraso térmico sugerido por SANTAMOURIS (1996) é de 8 horas para as paredes norte e oeste, de 14 horas para a leste, ou um atraso muito pequeno (devido a inviabilidade financeira), e a sul um atraso muito pequeno. Para a cobertura recomenda-se um longo tempo de atraso, pois está exposta a maior parte das horas do dia a radiação. Como é muito caro construir coberturas com muita massa térmica, recomenda o uso adicional de isolamento.

BURT et al. (1977) apud WATSON e LABS (1983) mostram os diferentes atrasos térmicos para as diferentes orientações para o clima da Califórnia. O atraso térmico recomendado para a orientação norte e oeste também é de 8 horas, para a sul e leste o valor é nulo, para a cobertura, recomenda um atraso térmico de 12 horas.

De uma maneira geral, explica KOENIGSBERGER et al. (1980), o tempo de atraso deve ser a diferença de tempo entre a hora onde ocorre a maior temperatura sol-ar em uma dada orientação, até a hora onde a temperatura externa cai abaixo da zona de conforto. Para o clima de Florianópolis - SC, onde nem sempre nas estações quentes, a temperatura externa cai abaixo da zona de conforto, supostamente, o atraso térmico não teria sentido.

2.5 Uso de Inércia Térmica em clima quente e úmido

Em condições quentes e áridas, uma edificação com inércia térmica estará relativamente fria durante o dia e quente durante a noite. Mas em casos onde a variação da temperatura do ar são pequenas mas com radiação solar intensa, como os climas quentes e úmidos, uma construção com inércia térmica pode ser uma desvantagem. Segundo STRAATEN (1967), a razão é que a estrutura não pode resfriar suficientemente durante a noite para permitir razoável conforto para dormir ou condições de trabalho. Lembra também que, o desempenho térmico de uma edificação não é somente determinada pela massa das paredes, mas também pelo fluxo de calor proveniente da cobertura. Os benefícios derivados de uma parede com massa pesada podem ser desconsiderados pelos ganhos e perdas de uma cobertura não isolada.

Um estudo de caracterização de casas tradicionais conforme o clima local foi feita em KOENIGSBERGER et al. (1980). E para climas compostos, onde há predominância de clima quente e seco ou quente e úmido durante o ano, a características das casas mudam. Com relação ao uso de inércia térmica, a solução adotada nestes climas, é um piso na terra com muita massa (terra ou alvenaria), e o andar superior feito de materiais leves.

Em FROTA e SCHIFFER(1988) encontra-se a seguinte recomendação para edificações em clima quente e úmido: "Não devem ter uma inércia muito grande, pois isto dificulta a retirada do calor interno armazenado durante o dia, prejudicando o resfriamento da construção quando a temperatura externa noturna está mais agradável que internamente". Sugerem inércia de média a leve com elementos isolantes nos vedos, para impedir que o calor recebido da radiação solar atravesse a construção e gere calor interno em demasia. Para a cobertura sugere material com inércia média, elemento isolante ou camada de ar ventilada para retirar o calor que atravessa as telhas.

O conforto por ventilação tem seu limite, segundo GIVONI (1994), a uma velocidade do ar a 1.5 a 2m/s para regiões ou estações onde a temperatura máxima externa não exceda 28°C a 32°C (dependendo da aclimatização da população) e aonde a amplitude diária não exceda 10°C (típico de clima quente e úmido). E nestas regiões com pequena variação de temperatura diária, uma edificação com inércia térmica, fechada e bem isolada, não produz uma redução significativa da temperatura interna diária abaixo do nível externo. Recomenda o uso de edificações com materiais leves, e que permitam a ventilação necessária para minimizar o efeito psicológico da alta umidade, e aumentar as perdas de calor convectivas pelo corpo.

Uma pesquisa realizada na cidade de Colombo (Sri Lanka) também comprova a ineficiência do uso de massa térmica em clima quente e úmido. RATNAWERA e HESTNES (1996) realizaram medições em uma construção, onde no período das medições a temperatura variou de 25 a 32°C e a umidade relativa de 75 a 95%, e que serviram de parâmetro para simulações feitas no TRNSYS. A parede original era de 20 cm de tijolo e foram propostas na simulação outras duas paredes, a primeira com 15 cm de câmara de ar entre 10 cm de tijolo externo e 20 cm de tijolo interno, e a segunda com tijolo de 30 cm. Comprovaram que as modificações nas simulações não apresentaram melhora no conforto interno.

Em suas recomendações para edifícios em clima tropical DE WAAL (1993) concluiu que, para edificações com resfriamento passivo, o uso de muita massa térmica em edificações baixas a melhoria é pequena. Isto devido a influência dominante da cobertura. Mas recomenda para edificações com resfriamento passivo, terem no teto cobertura pesada. Nesta pesquisa percebe-se uma indicação positiva quanto ao uso e massa térmica em edificações residenciais unifamiliares.

Também numa série de simulações feitas por SHAVIV (1988) apud SANTAMOURIS (1996) para o clima do mediterrâneo, conseguiu-se reduzir o consumo de energia durante o verão adicionando-se massa térmica à edificação. De acordo com os resultados, o efeito da massa térmica interna em reduzir as cargas de resfriamento da edificação é maior quando a edificação é usada de dia e a noite. A ótima espessura da partição interna de concreto é de 10 cm, quando a espessura da parede externa é de 15 cm. A adição de partições internas melhora drasticamente o consumo de energia da edificação durante o verão. Massa térmica pode ser adicionada de maneira a providenciar mais área de superfície e assim, facilitar as trocas de energia com o ambiente interno.

O uso de massa térmica é efetivo em locais onde a amplitude da temperatura ambiente exceda 10 K, de acordo com SZOKOLAY (1985) apud SANTAMOURIS (1996). E nestas condições, usando ampla ventilação noturna, e fechando a edificação durante o dia, consegue-se uma diminuição de mais de 10 K entre a temperatura média externa e a interna, sendo que a variação da temperatura interna fica em torno de 2.5 K.

Uma parte de um trabalho onde são apresentadas as diretrizes para projetos de residências bioclimáticas na Grécia, analisou-se a capacidade calorífica do envelope da edificação e sua relação com o conforto interno. O estudo de KOLOKOTRONI e YOUNG (1990) foi desenvolvido com o programa de simulação térmica ESP. Foram usados dois padrões de construção típicos da Grécia, e dividiram o clima local em quatro regiões climáticas. Para todos os climas analisados (inclusive o com inverno ameno e verão úmido e ameno, que aqui podemos comparar com o e Florianópolis - SC) o conforto térmico (temperaturas na faixa de 27.5°C e 28.5°C) estabilizou-se com uma capacidade calorífica superficial entre 200 e 300 KJ.m⁻².°C⁻¹. Uma redução maior na temperatura interna ocorre quando há um aumento na capacidade calorífica. Isto considerando um mesmo material, seria o aumento da espessura do envelope, o que muitas vezes torna o projeto

economicamente inviável. Citam um exemplo prático: enquanto um concreto de 150 a 220mm ou uma parede de tijolo furado de 130 a 200 mm podem ter uma capacidade calorífica superficial de 200 a 300 $\text{KJ.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$, a espessura teria que passar para 350mm para se ter uma capacidade calorífica superficial de 500 $\text{KJ.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$, e a temperatura interna estaria na faixa de 28° a 27°C. Propõem então uma capacidade calorífica superficial média de 300 $\text{KJ.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$ como um valor que representa uma preocupação tanto com os padrões de conforto, quanto a economia na construção.

O uso de armazenamento térmico para climas quentes e úmidos se prudentemente usada, afirma SZOKOLAY (1981), pode garantir durante o dia temperaturas levemente acima daquelas conseguidas à noite. Com o clima da cidade de Darwin, fez simulações com taxa de ventilação constante de 6 trocas/hora para edificação leve e média, e uma edificação com ventilação diurna de 1 troca/hora e noturna (18:00 às 10:00h) de 30 trocas/hora. Os resultados foram, a edificação leve apresentou maior pico, a edificação média apresentou um pico 3.5°C abaixo e com um retardo de 5 horas em relação a leve. Mas a estrutura leve teve vantagem de 3°C de resfriamento do que a média por volta das 21:00h. Isto entretanto reduz para uma edificação pesada com ventilação noturna.

SZOKOLAY (1996) apresenta os resultados de sua pesquisa sobre a controvérsia do uso edificações leves ou pesadas para climas quentes e úmidos usando o programa Archipack. O modelo simulado trata de uma edificação de 40 m² e pé direito de 2.5m, e as simulações variaram em 3 tipos de piso, 3 de tetos, 7 paredes, 6 tipos de aberturas, 2 tipos de trocas de ar por hora, e 3 tipos de absorvidade pela cobertura, estas variações foram rodadas para os meses de janeiro e julho, com o clima quente e úmido da cidade de Cairns (latitude: 17°S). Os dados de análise para comparação foram o somatório de graus hora acima e abaixo da zona de conforto. Verificou-se que as melhores variações construtivas (mês de janeiro) foram as sombreadas e com ampla ventilação, e as piores variações construtivas foram as sem sombreamento e com pouca ventilação. As coberturas claras e refletivas mostraram-se sempre benéficas, mas com 1 troca de ar por hora, o uso de isolamento adicionado a cobertura tem um efeito ruim, pois os ganhos de calor interno e externo aumentam a temperatura interna acima da externa, e o isolamento na cobertura dificulta a dissipação do calor, tornando as condições internas piores do que as condições externas. Com ventilação de 10 trocas de ar por hora o isolamento na cobertura torna-se

benéfico. Uma edificação pesada, com cobertura com isolamento, sem sombreamento e com pouca ventilação, teve o pior desempenho térmico, mas esta mesma edificação com sombreamento apresentou melhor desempenho térmico do que as edificações leves. Outras recomendações desta pesquisa são: as aberturas devem ser sombreadas e orientadas a norte e as menores aberturas orientadas a sul, e não devem ter aberturas a leste e oeste; laje de concreto no andar térreo com acabamento não isolante; cobertura de telha de barro com isolamento térmico; ventilação mínima de 10 trocas de ar por hora no verão, podendo ser reduzida para 1 no inverno. Esse trabalho demonstra que o uso de inércia térmica associado a uma correta orientação, sombreamento e ventilação apresenta um melhor desempenho térmico do que uma edificação com menor inércia térmica.

Para Florianópolis, após medições em edificações residenciais e uma análise entre os sistemas construtivos realizada por ANDRADE (1996), observou-se que dos métodos indicados pela carta bioclimática de Givoni, o uso da estratégia de massa na envoltória para resfriamento também é útil.

Percebe-se pelas pesquisas e medições realizadas que há uma certa controvérsia sobre o uso de massa térmica para resfriamento em climas quentes e úmidos. Alguns pesquisadores afirmam através de simulações computacionais que o uso de massa térmica para este clima não tem bons resultados, enquanto outros usando o mesmo método apresentaram bons resultados.

O uso de inércia térmica é recomendado para uso comercial, já que o ganho de calor armazenado na massa térmica durante o dia é liberado no período noturno quando não há ocupação num escritório, já para o uso residencial a inércia térmica na edificação não é muito recomendado. Mas levando-se em conta as medições em residências realizadas por ANDRADE (1996) nesta cidade, e o resultado da pesquisa computacional realizada por SZOKOLAY (1996), este trabalho propõem-se a analisar o uso da inércia térmica em edificações residenciais como uma estratégia de resfriamento passivo para a cidade de Florianópolis - SC.

3 Metodologia

Na revisão Bibliográfica constatou-se alguns conflitos com relação ao uso de inércia térmica para climas quentes e úmidos. As simulações computacionais apresentadas nos trabalhos pesquisados diferiram entre si, e são pouco conclusivas para o clima de Florianópolis. Desta forma, optou-se por fazer medições de temperatura em residências reais com diferenças em seu envelope externo, obtendo-se a resposta da validade ou não do uso de inércia térmica para clima quente e úmido.

3.1 Estudo de Caso

O objetivo das medições em edificações residenciais foi com o intuito de avaliar as edificações em suas condições reais de uso, e não só as ideais, na cidade de Florianópolis - SC. A escolha das edificações foi em função das diferenças no envelope externo.

As medições nas edificações resumiram-se a coleta de temperatura de bulbo seco. O equipamento usado para este fim foi um pequeno equipamento eletrônico de aquisição de sinais, HOBO® Temp Data Logger da Onset Computer Corporation. Os sensores que foram postos na parte externa da edificação, foram recobertos com alumínio para evitar a influência da radiação solar e radiação de onda longa.



Figura 3.1 Data Logger HOBO

3.1.1 Verificação da Dispersão dos Valores Medidos

Os sensores dos Data Loggers HOBO® operam na faixa de temperaturas de -40°C a $+120^{\circ}\text{C}$, e armazenam valores de -40°C a $+75^{\circ}\text{C}$. A acurácia na faixa de temperaturas que

foram feitas as medições é de 0.7 K, e a resolução 0.4 K. Trabalha numa faixa de umidade relativa de 0 a 95%, desde que não haja condensação.

Foram adquiridos 25 Data Loggers HOBO[®], e com estes fez-se uma calibração dentro de uma estufa, onde a temperatura interna é controlada. Os Loggers foram separados entre si e colocados sobre um estrado de madeira. A distribuição da temperatura nos 25 Loggers foi homogênea mas não idêntica, e um dos fatores que podem ter ocasionado esta diferença são as correntes convectivas que podem se formar em função das diferenças de temperatura dentro da estufa. Para evitar os problemas com a convecção fez-se uma verificação da dispersão dos valores medidos, onde todos os sensores foram dispostos em um envólucro de alumínio e posto em um ambiente com isoamento térmico. A figura 3.2 mostra o resultado desta calibração. Com esta calibração definiu-se grupos de 7 Loggers que foram dispostos em três das edificações. Na quarta edificação foram usados apenas 2 Loggers.

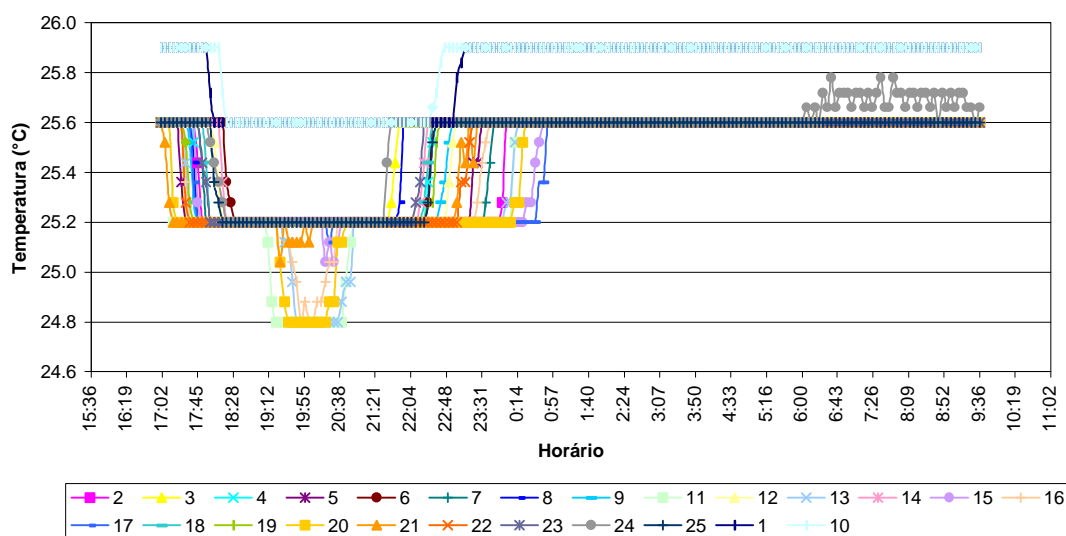


Figura 3.2 Verificação da dispersão de temperaturas em ambiente isolado termicamente.

3.1.2 Os Objetos de Estudo

Três das edificações monitoradas situam-se no bairro Lagoa da Conceição - Florianópolis, e duas destas estão localizadas no Loteamento Jardim Senador Saulo Ramos no Canto da Lagoa. (vide Figura 3.2).

A proximidade das edificações permite que se faça uma comparação de uma edificação com a outra, pois estão inseridas dentro de um mesmo mesoclima, mas com características construtivas diferentes.

A quarta edificação localiza-se no bairro Palhoça na cidade de São José (vide Figura 3.2). Esta edificação foi selecionada pela suas características construtivas, e não foi possível obter-se uma edificação parecida no bairro da Lagoa da Conceição.

A localização das edificações estão demarcadas pelos pontos vermelhos na figura 3.3.

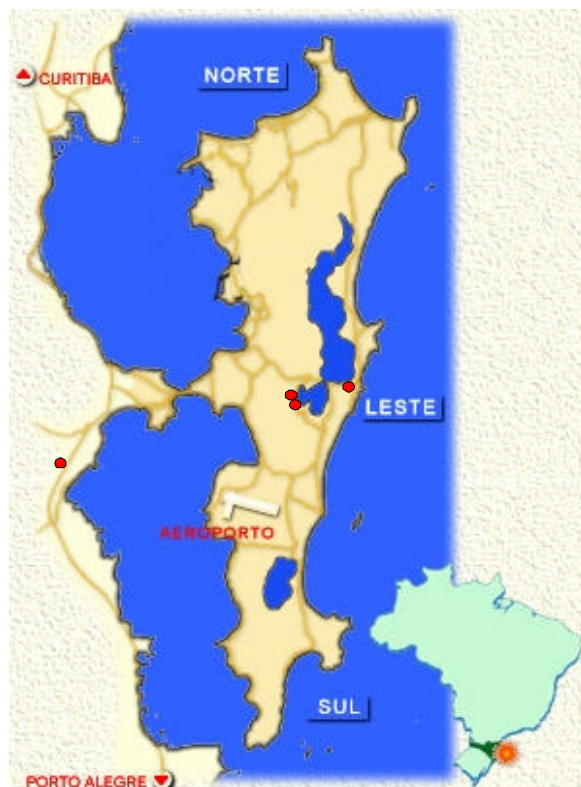


Figura 3.3 Ilha de Florianópolis + Continente. Localização das edificações.

Os dados climáticos externos, durante o período das medições, foram obtidos no Laboratório de Energia Solar – LabSolar, da Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, que se encontra a aproximadamente 7 km da Lagoa da Conceição. Os dados adquiridos com o Labsolar foram a temperatura externa do ar e a radiação global.

As três edificações situadas no bairro Lagoa da Conceição são de alto padrão construtivo. Seus projetos foram desenvolvidos por arquitetos, que procuraram valorizar aspectos de insolação, visuais, e conforto. Estas edificações diferem entre si em diversos

aspectos, mas fazem uso do tijolo cerâmico para fechamento laterais, e possuem na cobertura telhas cerâmicas.

A quarta edificação é industrializada, e seu fechamento lateral é feito de placas de madeira separadas por uma câmara de ar, e sua cobertura é de telha cerâmica.

3.1.2.1 Residência 1

Esta residência é situada no loteamento Jardim Senador Saulo Ramos no Bairro Lagoa da Conceição, e a autoria do projeto arquitetônico é da arq. Simone Antunes da Silva (vide Figura 3.4 e 3.5).



Figura 3.4 Foto aérea Canto da Lagoa, situando os terrenos das Residências 1 e 2.

Por seu terreno ser em aclive, a edificação foi construída acima do nível da rua, e sua fachada principal recebe a influência do vento sul. Na sua fachada lateral nordeste há um terreno sem edificação, possuindo vizinhos apenas a sudoeste e noroeste.

Nesta residência o ambiente do estar, e da sala e TV voltados a sudeste possuem grandes aberturas, com esquadrias de vidro, para permitir a apreciação da paisagem (vide Figura 3.4).

A edificação é composta de três pavimentos mais um sótão. A escada é o elemento integrador dos pavimentos, sendo que no segundo pavimento não possui fechamento

lateral. O primeiro pavimento é semi enterrado e neste pavimento encontra-se a garagem (sem porta) e o acesso principal (vide figura 3.6).



Figura 3.5 Residência 1 – Fachada Frontal.

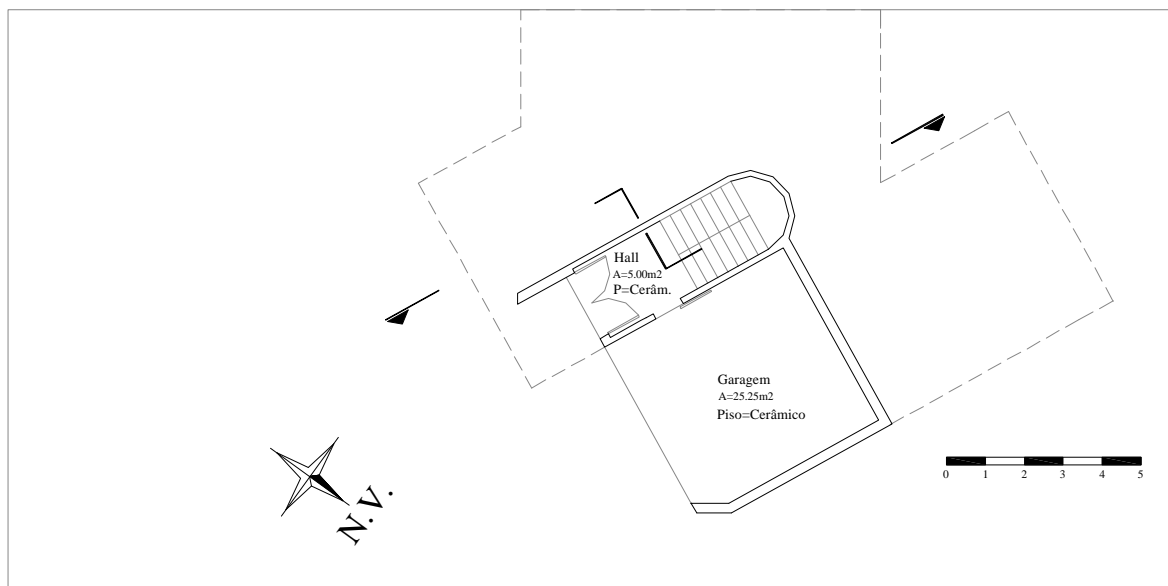


Figura 3.6 Planta Baixa Pavimento Garagem Residência 1

No segundo pavimento encontra-se a área social e de serviço (vide figura 3.7). O ambiente do estar e jantar é integrado, com grandes aberturas a sudeste e a noroeste. Sendo que as aberturas a noroeste (jantar) tem folhas de veneziana e vidro. A sala de jogos possui uma grande abertura a sudeste, também com esquadrias de veneziana e vidro. A cozinha possui aberturas com pouca área (devido a pequena altura da esquadria). A canalização de água quente passa por dentro das paredes da cozinha, mas sem isolamento. A área de serviço tem suas aberturas em vidro voltadas a norte.

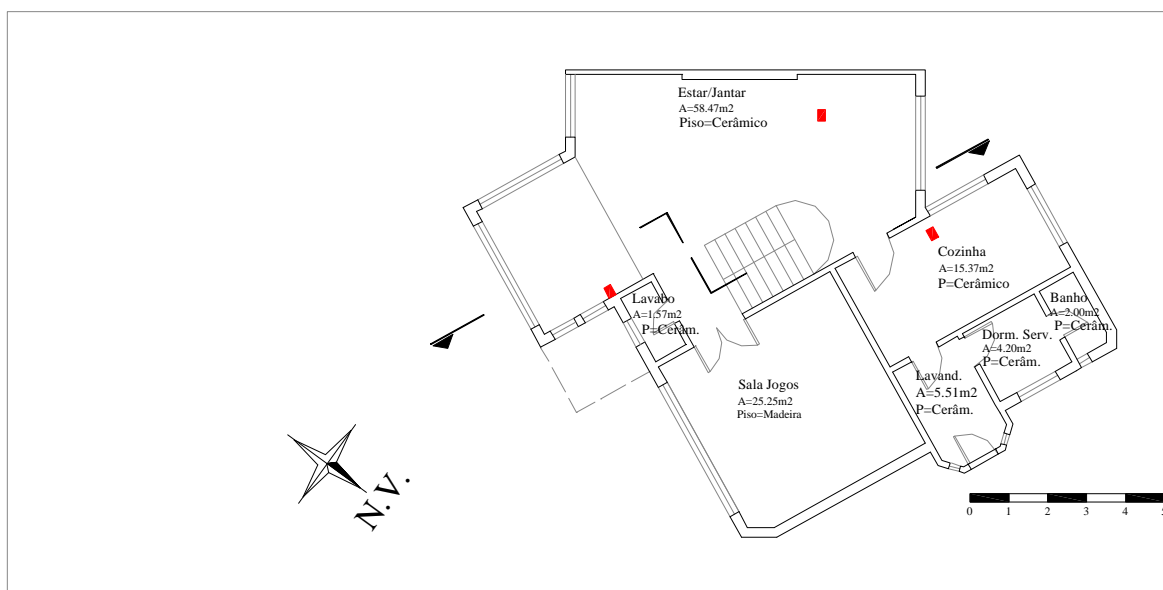


Figura 3.7 Planta Baixa Pavimento Térreo Residência 1.

No terceiro pavimento encontram-se os dormitórios e a sala íntima (vide figura 3.8). A sala íntima possui o fechamento de sua abertura apenas com esquadrias de vidro, e sua orientação é sudeste. O dormitório a sudeste tem esquadrias apenas com vidro, o dormitório a noroeste possui esquadrias de veneziana e vidro.

O último pavimento é um sótão, usado como escritório. Este ambiente fica logo abaixo da cobertura, suas aberturas são pequenas esquadrias de vidro devido a sua pouca altura. A orientação principal das aberturas no sótão é noroeste e sudoeste (vide figura 3.9).

Os dois moradores da residência fazem pleno uso da residência no período noturno e fins de semana. A faxineira tem uma periodicidade de 1 vez a cada duas semanas, e normalmente às sextas-feiras.

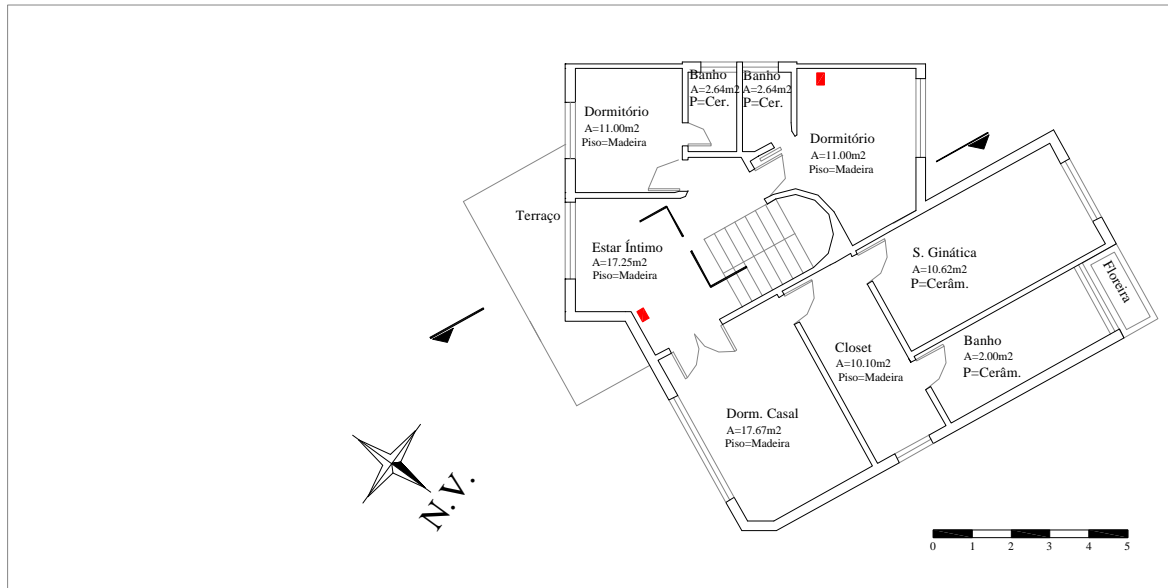


Figura 3.8 Planta Baixa Pavimento Superior Residência 1

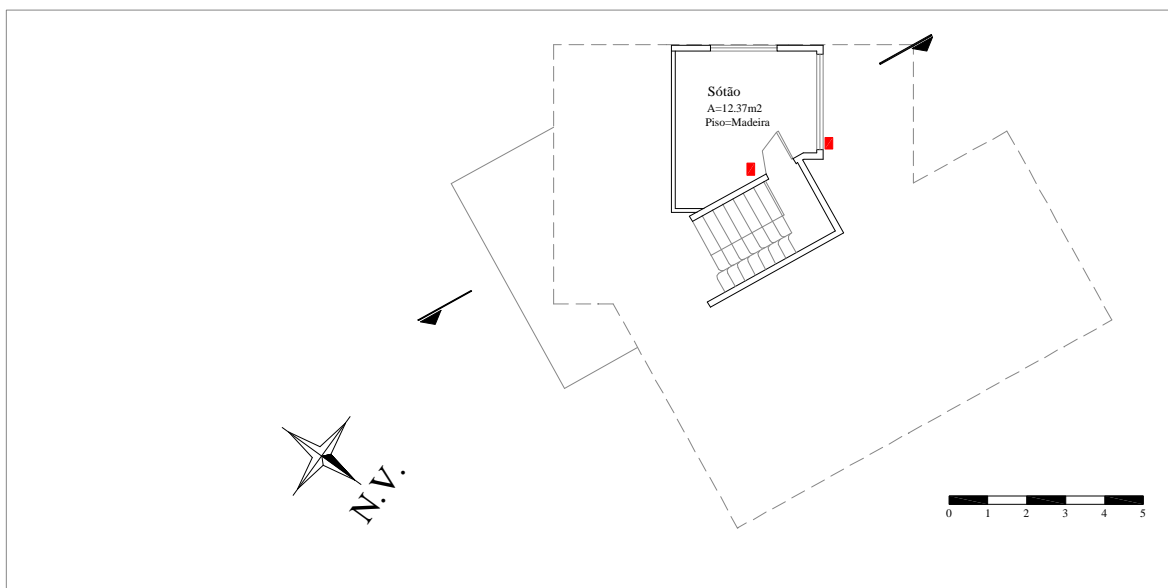


Figura 3.9 Planta Baixa Pavimento Sótão Residência 1

O vizinho a sudoeste tem sua edificação próxima à edificação em questão. Suas fachadas laterais são paralelas, e a edificação vizinha possui uma cor alaranjada que reflete os raios solares.

A estrutura da edificação é de concreto com fechamento lateral em duas camadas de tijolos, maciço no lado externo e tijolo de 6 furos à cutelo no lado interno com reboco, perfazendo uma parede total com 21 cm, conforme figura 3.10.

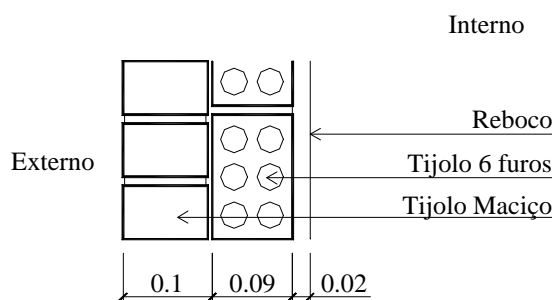


Figura 3.10 Detalhe construtivo da alvenaria externa - Residência 1 (sem escala).

Na face externa a edificação é de tijolo à vista (vide figura 3.5), e internamente possui suas paredes pintadas de tinta acrílica semi-brilho cor pérola. A cozinha e o banheiros tem suas paredes pintadas de tinta acrílica semi-brilho cor branca, e os banheiros tem azulejo até 1 metro de altura.

O piso no pavimento da garagem é de placas de granito, do pavimento social e de serviço é cerâmico, nos pavimento dos dormitórios o piso é de lâmina de madeira e = 7mm, .e no sótão é assoalho de madeira encaixe macho-fêmea. Os banheiros possuem o piso cerâmico.

Sua cobertura é com telhas de barro (vide figura 3.4), sem isolamento térmico. O sótão não possui laje, apenas o forro de madeira fixado abaixo dos caibros na cobertura, e foi posto um plástico amarelo acima das ripas no início do mês de novembro, para evitar infiltrações. Os outros ambientes internos possuem laje.

Esta edificação foi projetada com grandes aberturas para permitir a ventilação cruzada no verão, e parede dupla de tijolos para evitar a perda de calor no inverno.

A escada funciona como um duto que permite a entrada de ar frio da garagem, e propicia a saída do ar quente nos pavimentos superiores (vide corte esquemático figura 3.11).

O principal ganho de calor é pela radiação solar. Sendo que a edificação permanece fechada, o sol nascente entra através do vidro das aberturas frontais (estar e sala íntima) e aquece o ambiente.

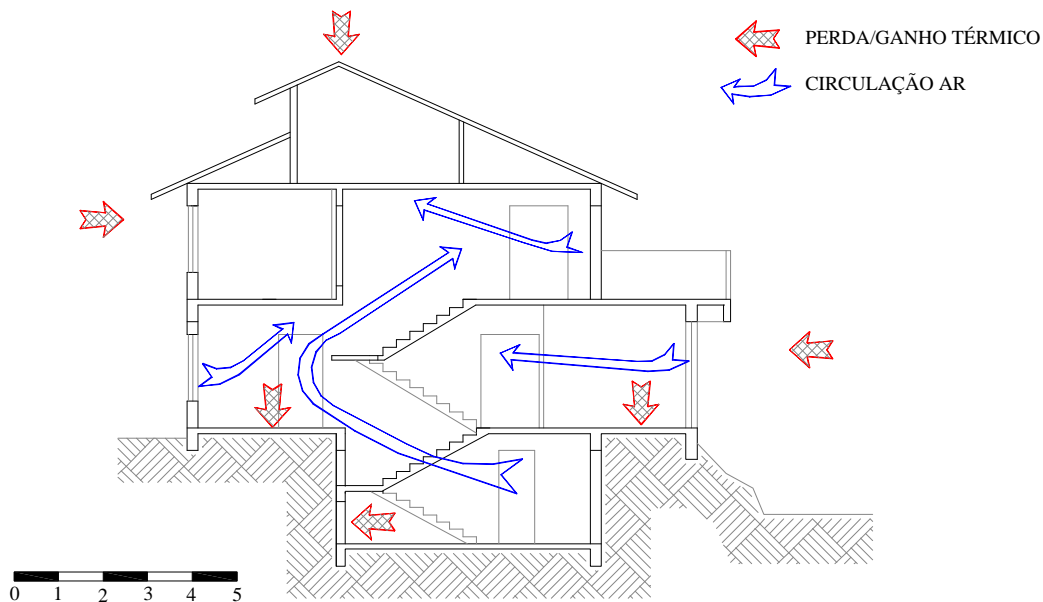


Figura 3.11 Corte Esquemático Residência 1

A escolha dos pontos de medição foi feita de forma a obter-se uma idéia do desempenho térmico da edificação como um todo. Nas plantas baixas da residência 1 os retângulos pretos mostram os pontos onde foram dispostos os sensores.

3.1.2.2 Residência 2

Também situada no Loteamento Jardim Senador Saulo Ramos no Bairro Lagoa da Conceição (vide figura 3.4), este projeto é de autoria da arq. Alice T. Cybis Pereira. Esta residência localiza-se na rua anterior a residência 1. Seu terreno em aclave, fez com que se construísse a garagem ao nível da rua, e a edificação acima da rua.

Esta residência possui vizinhos em todas as suas extremas. Mas a proximidade das edificações não causa conflito.

Sua fachada frontal recebe forte influência do vento sul, e a fachada posterior é bastante influenciada pelos ventos do quadrante norte.



Figura 3.12 Residência 2 – Fachada Frontal.

A residência 2 foi construída em desníveis, e todos os seus ambientes são integrados (vide corte esquemático, figura 3.18).

O pavimento da garagem fica semi-enterrado (vide figura 3.13). O pavimento social e de serviço fica ao nível do terreno. A sala de estar e jantar tem aberturas a leste e norte, sendo que as portas tem folhas de veneziana e folhas de vidro, o que permite controlar a entrada de ar. As aberturas da área social são protegidas por uma varanda. A cozinha se integra ao ambiente social através de uma abertura que serve de passa pratos. Acima da janela da cozinha existe um sistema de iluminação zenital. As aberturas da área de serviço tem orientação norte, oeste e sudoeste. No pavimento intermediário encontra-se o estar íntimo, que possui pé direito duplo, e o escritório com laje. O escritório integra-se ao estar íntimo, e possui um sistema de iluminação zenital indireto. Suas aberturas são voltadas a sudoeste e sudeste, possuindo esquadrias com folhas de veneziana e vidro. O estar íntimo possui um lareira que é acesa nos períodos mais frios do ano. O estar íntimo possui aberturas com veneziana e vidro a sul, e janelas com vidro e tijolos de vidro a leste. A abertura a sul é protegida por uma varanda (vide Figura 3.14).

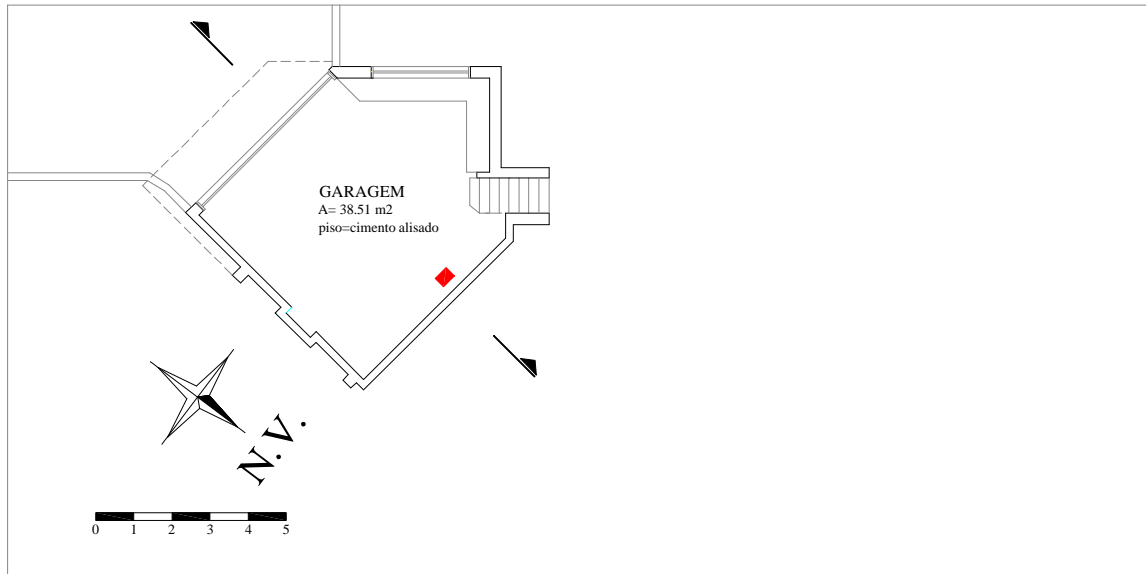


Figura 3.13 Planta Baixa Pavimento Garagem Residência 2

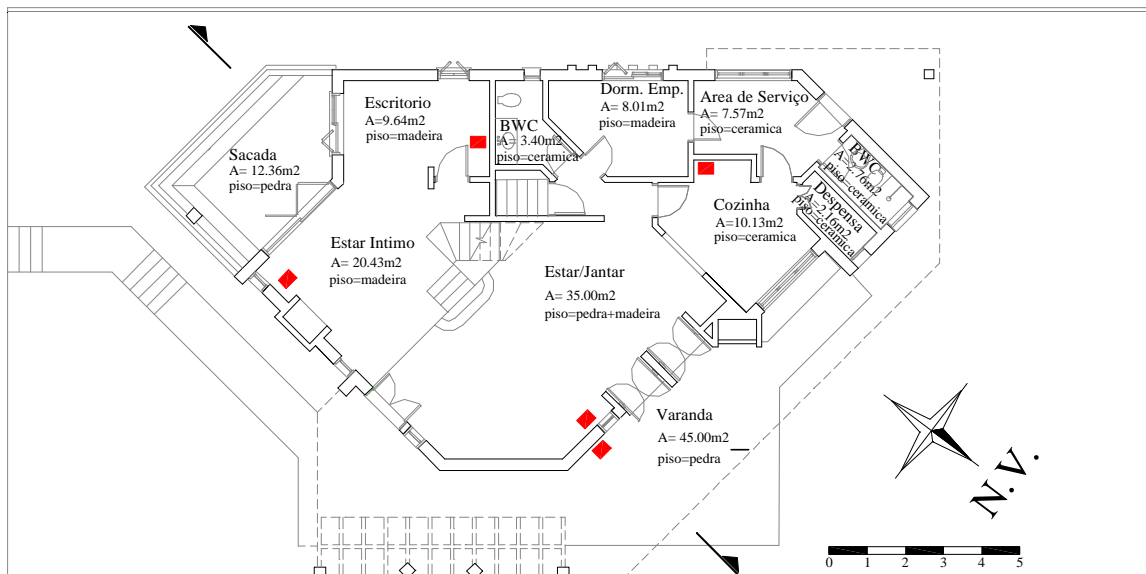


Figura 3.14 Planta Baixa Pavimento Térreo Residência 2

O estar íntimo integra-se com o corredor/mezanino do pavimento superior. Os dormitórios tem aberturas predominantes a norte (vide figura 3.15). O dormitório do casal, aonde é feita uma das medições, possui aberturas a sudeste e a sudoeste (aberturas do closet e banheiro).

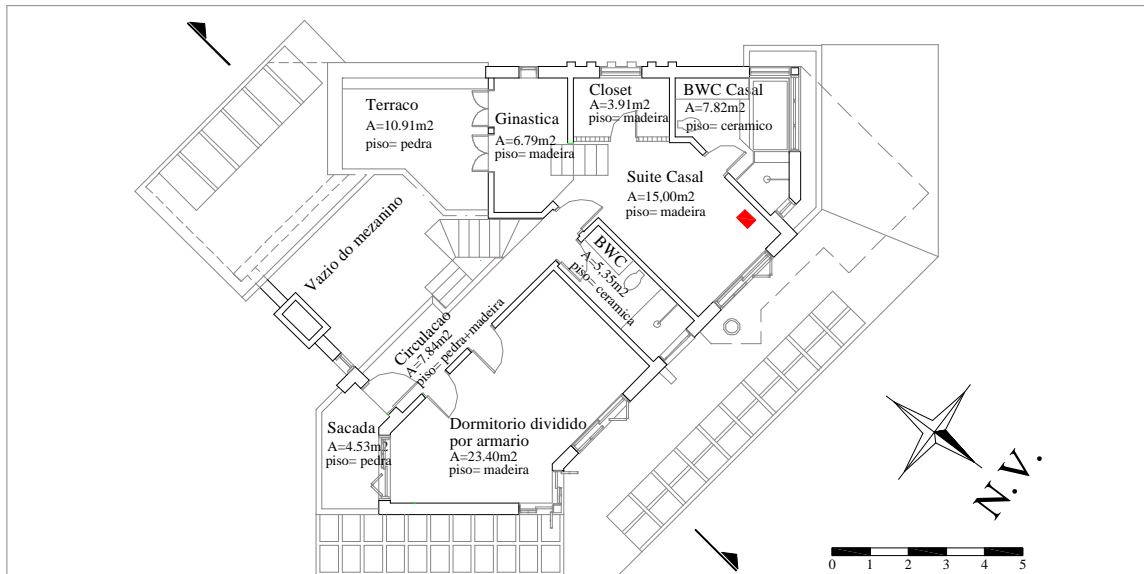


Figura 3.15 Planta Baixa Pavimento Superior Residência 2

Esta residência tem nas suas paredes externas uma parede de tijolos dupla separada por uma câmara de ar. Na parte externa da parede fica um tijolo de 2 furos de 11 cm, depois uma câmara de ar de 10 cm e internamente tijolos maciços de 11 cm.

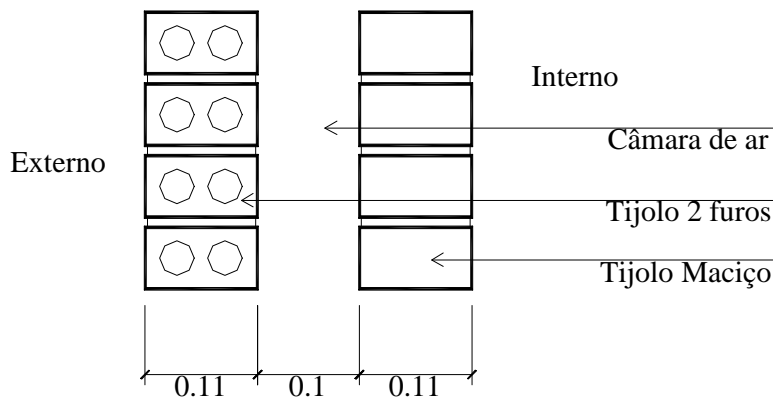


Figura 3.16 Detalhe construtivo da alvenaria externa - Residência 2 (sem escala).

Na cobertura foi usado telhas de barro claras, e logo abaixo das ripas uma folha de alumínio que funciona como uma barreira radiante. Abaixo dos caibros vem o forro de madeira (figura 3.17).

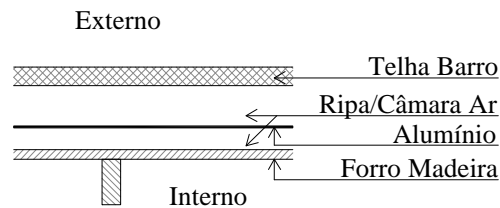


Figura 3.17 Detalhe construtivo da cobertura - Residência 2 (sem escala).

As paredes internamente são pintadas com cor clara.

Os piso é de pedra São Tomé na área social, nas áreas úmidas o piso é cerâmico, e no estar íntimo, escritório e dormitórios o piso é de madeira.

Os ambientes internos por serem amplos e integrados, permitem uma boa ventilação cruzada na casa, além de permitir um fluxo de ar pelo efeito “chaminé” (vide Corte esquemático figura 3.18). Os ganhos de calor externos em uma edificação ocorrem principalmente pela cobertura e pelas paredes. Nesta edificação evitou-se estes problemas através do uso de folha de alumínio na cobertura e parede dupla com câmara de ar nos fechamentos laterais. O seu contato com o solo permite que o mesmo funcione como um regulador térmico, evitando quedas bruscas no inverno, e funcionando como dissipador de calor no verão.

Dos quatro ocupantes da casa, dois são menores de 8 anos, e vão ao colégio no período vespertino. Por isso, durante a semana a casa é ocupada por 3 pessoas no período matutino, e uma pessoa à tarde. A ocupação plena da residência ocorre nos períodos noturnos e fins de semana.

A escolha dos pontos de medição foi feita de maneira a ter-se uma distribuição das temperaturas internas, e verificar a influência de um envelope externo.

Nas plantas baixas os retângulos pretos demonstram os locais onde foram dispostos os Data Loggers.

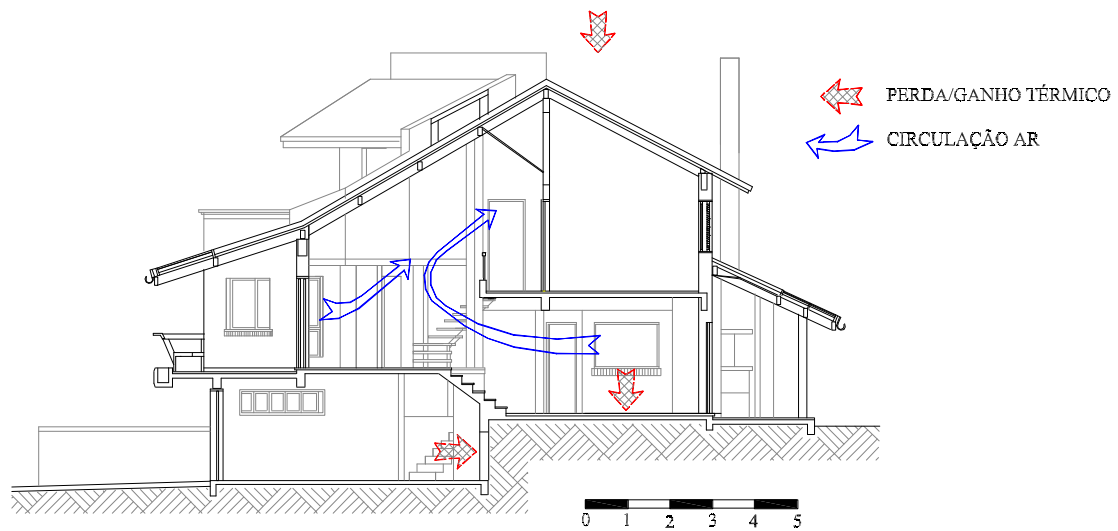


Figura 3.18 Corte Esquemático Residência 2

3.1.2.3 Residência 3

Situado na Lagoa da Conceição (vide figura 3.19), este projeto é de autoria da arq. Márcia Barbieri.



Figura 3.19 Foto aérea Lagoa da Conceição, situando o terreno da Residência 3.

Por estar situado em um terreno em aclave, esta residência tem ambientes internos em desnível, e que tem parte de suas paredes em contato com um porão que fica sobre uma rocha (vide corte esquemático Figura 3.26).

Esta residência apesar de possuir vizinhos, tem seu entorno cercado por vegetação. Esta edificação foi implantada na encosta de um morro. Sendo que a orientação solar a leste é em grande parte protegida pelo morro e pela vegetação. Sua fachada principal ficou a oeste com uma ampla vista da Lagoa.

A escada funciona como um corredor que interliga os ambientes. O estar, jantar e cozinha são interligados entre si. Sendo que o estar e o jantar tem amplas aberturas com esquadrias de vidro a oeste, para aproveitar a vista, e permitir a entrada de correntes de ar (vide planta baixa térreo figura 3.20). O estar ainda tem amplas aberturas com esquadrias de vidro também a norte. Estas correntes de ar normalmente são resfriadas pela vegetação e pelo contato com a água da Lagoa, o que proporciona uma melhora no conforto nesta orientação desfavorável no final das tardes mais quentes. O estar possui uma lareira que serve para amenizar as perdas de calor pelos amplos vidros, no período frio. O teto do estar acompanha a inclinação da cobertura. Sendo que o jantar e a cozinha possuem um pavimento acima. O estar e a cozinha possuem uma de suas paredes em contato com a terra. A cozinha possui uma abertura a leste, que devido a existência do morro, só recebe a claridade do dia. Permitindo assim, uma ventilação cruzada com o jantar. A área de serviço tem aberturas com esquadrias de vidro com orientação leste.

No pavimento intermediário encontra-se dois dormitórios, aqui denominados de 1 e 2. O dormitório 1 (vide planta baixa pavimento térreo figura 3.20), tem sua principal abertura, uma porta janela com esquadrias de vidro e veneziana, orientada a norte. Tem uma abertura menor, mas também com folhas e vidro e veneziana, voltada a leste. O dormitório 2 tem duas janelas, também com folhas de vidro e veneziana, mas só que orientadas a leste e sul. Vale lembrar que na orientação leste não há incidência solar devido a existência do morro. Abaixo destes dois dormitórios há um pequeno vazio, que é fechado e usado como porão. Este contato com a rocha dá a estes dormitórios uma inércia térmica grande. O banheiro possui pequena abertura orientada a leste.

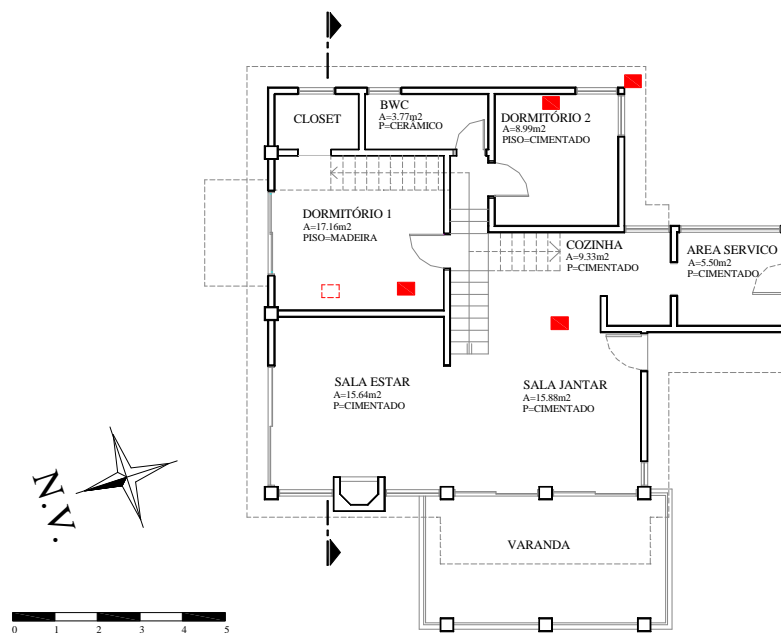


Figura 3.20 Planta Baixa Pavimento Térreo Residência 3.

No pavimento superior encontra-se o dormitório 3, um banheiro, e o escritório (vide planta baixa pavimento superior figura 3.21). O dormitório 3 tem duas portas janelas, com esquadrias de vidro e veneziana, orientadas a oeste, aproveitando a vista da Lagoa. Possui uma pequena abertura a sul, também com vidro e veneziana. Neste dormitório, para evitar condições extremas de desconforto térmico, possui uma lareira e um ventilador de teto. O teto este dormitório acompanha a inclinação do telhado. O banheiro tem aberturas com orientação oeste, sul e leste. O escritório também possui uma lareira, e seu teto também acompanha a inclinação do telhado. O escritório possui um vidro fixo orientado a leste, janelas com esquadrias de vidro orientadas a oeste, uma porta janela, também em esquadria de vidro orientada a norte.

A sua cobertura é de telhas de barro claras, mas atualmente encontram-se escurecidas. Abaixo das ripas possui uma lâmina de alumínio, e abaixo dos caibros um forro de madeira (vide figura 3.22).

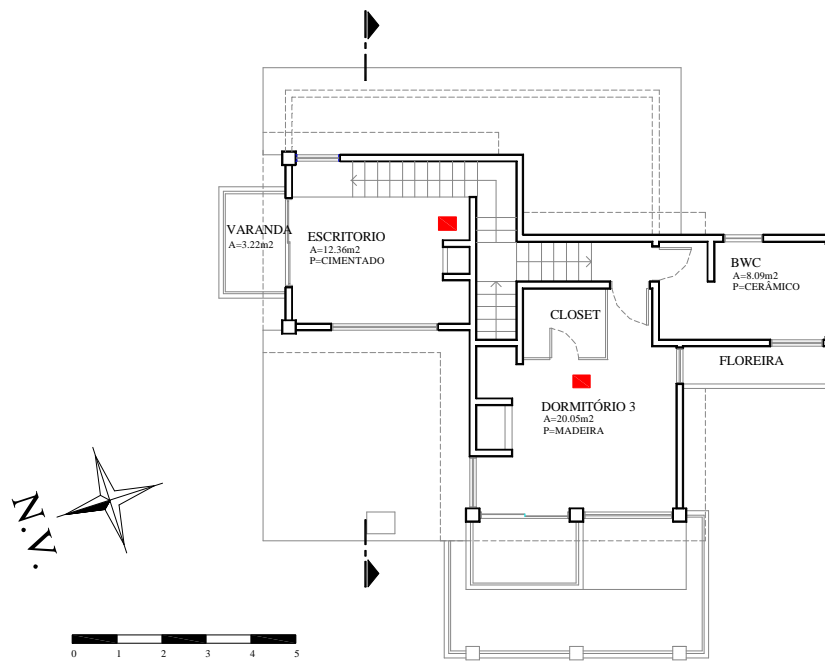


Figura 3.21 Planta Baixa Pavimento Superior Residência 3

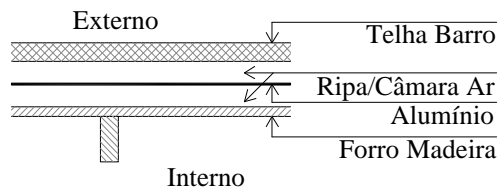


Figura 3.22 Detalhe construtivo da cobertura - Residência 3 (sem escala).

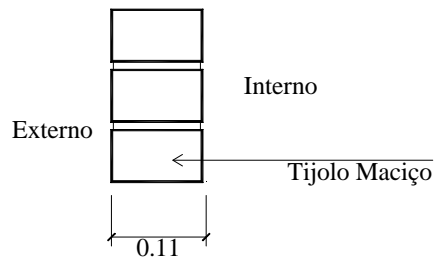


Figura 3.23 Detalhe construtivo da alvenaria 1 - Residência 3 (sem escala).

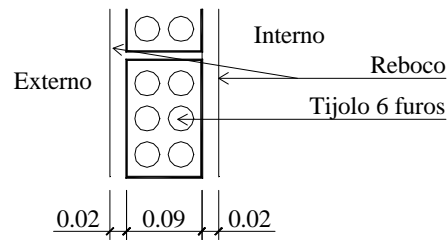


Figura 3.24 Detalhe construtivo da alvenaria 2 - Residência 3 (sem escala).

Esta edificação possui partes de suas paredes com tijolo maciço, e parte com tijolo 6 furos rebocado dos dois lados (figuras 3.23 e 3.24). As paredes internas do estar são em tijolo maciço, e as outras são rebocadas e pintadas de cor clara. As paredes das áreas úmidas são em cerâmica. O piso nas áreas de estar, dormitório 2 e serviço é cimento alisado, nos banheiros é piso cerâmico, e nos dormitórios 1 e 3 é piso de madeira.

Apesar de possuir apenas três ocupantes, esta residência está normalmente em uso.

O principal ganho de calor externo nesta edificação é causado pela radiação solar, devido a suas grandes aberturas com vidro a oeste. Seu ganho de calor pela cobertura deveria ser minimizado pelo uso de folha de alumínio, mas devido a sujeira acumulada sobre as telhas, parte desta pode estar diminuindo o desempenho do alumínio (vide Figura 3.25).



Figura 3.25 Residência 3 – Fachada Frontal.

Esta edificação possui um grande contato com uma rocha, protegendo o ambiente interno da variação extrema das condições externas. A rocha por estar em contato com a terra permanece com uma temperatura média quase constante. E quando a temperatura interna for maior do que a da rocha, o calor é dissipado para ela, ocorrendo o inverso no inverno. Este contato com a rocha aumenta a inércia térmica da edificação, ajudando a diminuir a amplitude interna quando há uma grande variação externa.

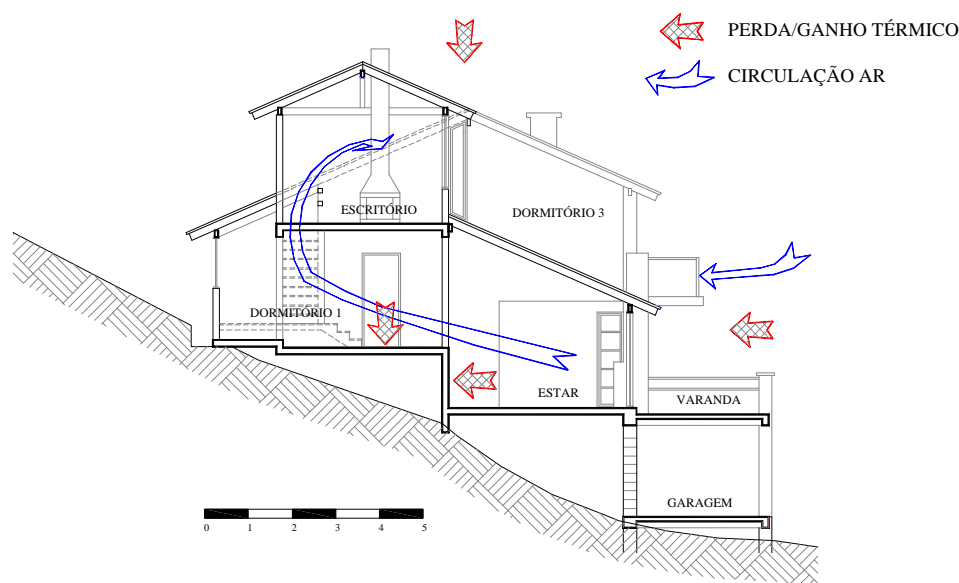


Figura 3.26 Corte Esquemático Residência 3.

Durante o verão, esta residência é protegida dos raios solares matutinos, vindo a ter um maior desconforto no período vespertino. Para minimizar o desconforto por calor, permite-se uma plena ventilação por entre as aberturas. No período frio, consegue-se evitar o desconforto interno através do uso das lareiras. Suas grandes aberturas permitem uma boa ventilação, amenizando os efeitos do calor. E no inverno, as aberturas com vidro, permitem a entrada do ganho solar, e permanecendo fechadas evitam a perda de calor.

Para acessar o escritório não existe nenhuma porta interna. Com isto, quando se abre a porta janela que dá acesso externo, forma-se uma corrente de ar vinda do estar/jantar e ocasionando ventilação pelo efeito “chaminé” (vide flechas no corte esquemático figura 3.26).

Nas plantas baixas os retângulos pretos demonstram os locais onde foram dispostos os Data Loggers. O retângulo vermelho pontilhado no dormitório 1 representa o Data logger que foi posto para medir a temperatura do porão.

3.1.2.4 Casa 4

Esta edificação está localizada no Loteamento Pagnani em Palhoça. Esta edificação serve como imobiliária, vendendo os lotes deste loteamento. A idéia da empresa foi construir uma edificação que fosse passível de fácil remoção. Para tanto optaram por uma edificação industrializada da Divisão Casas Industrializadas Stella da empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda (vide Figura 3.27).



Figura 3.27 Casa 4 – Fachada Frontal e Lateral

O terreno em que esta edificação se encontra é plano, não possuindo vizinhos em nenhuma de suas extremas.

Sendo de um pavimento, esta edificação possui todos os ambientes em contato com o solo, e ao mesmo tempo, recebendo ganho de calor solar pela cobertura. A distribuição dos ambientes é demonstrada pela figura 3.28.

A parede desta edificação é formada por duas placas de madeira de 15mm separadas por uma câmara de ar e 12cm, perfazendo uma parede total de 15 cm.

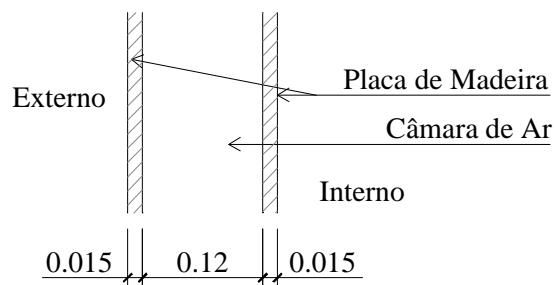


Figura 3.28 Detalhe Construtivo Parede – Casa 4 (sem escala).

Sua cobertura de duas águas possui telha de barro clara, e abaixo das ripas uma manta isotérmica de 5 mm de espessura com uma face aluminizada voltada para cima. Seu forro é plano, formando uma câmara de ar debaixo da cobertura. E acima da placa de forro de 15mm encontra-se uma camada de 25mm de lã de vidro.

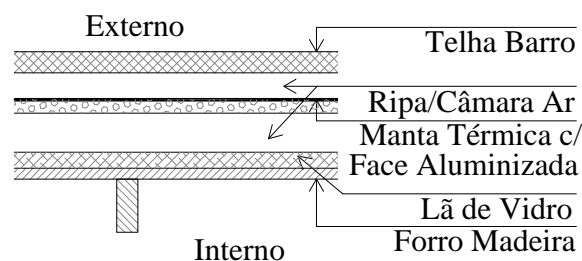


Figura 3.29 Detalhe Construtivo Cobertura – Casa 4 (sem escala).

Esta edificação tem uso apenas comercial, funcionando de segunda a sábado das 8:00 h. às 18:00 h.

Esta edificação foi construída no final do ano de 1997. Sua ocupação é em torno de 6 pessoas. Seus equipamentos eletrodomésticos são os mesmos encontrados em uma residência deste porte.

O escritório 2 é o único que possui aparelho de ar condicionado. E quando o mesmo é acionado a porta desta sala fica fechada. Os outros ambientes não possuem qualquer tipo de condicionamento artificial. As portas internas e externas ficam normalmente abertas, permitindo uma ventilação cruzada quando janelas em lados opostos estão abertas.

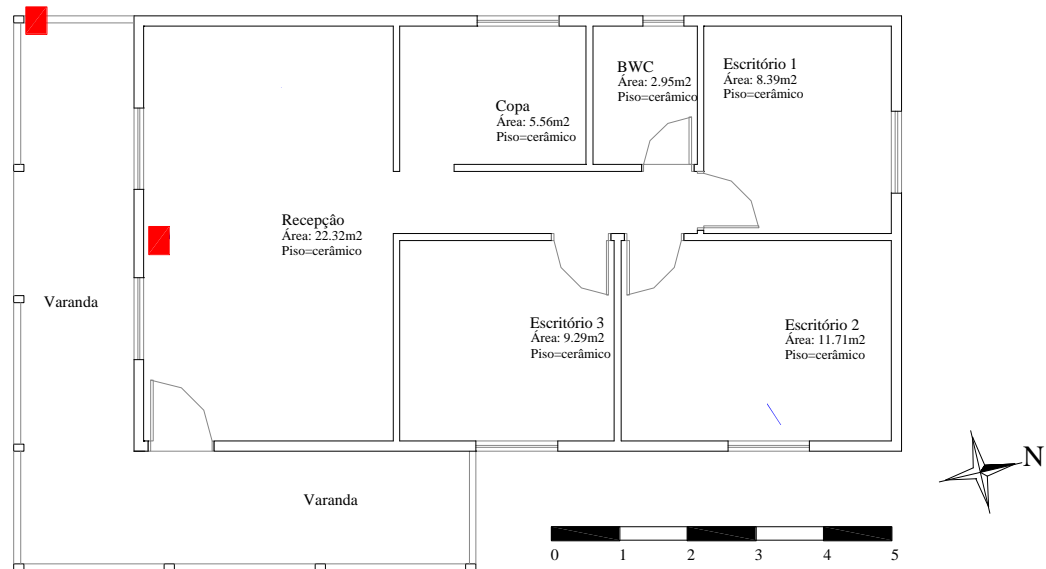


Figura 3.30 Planta Baixa Pavimento Térreo Casa 4.

Os retângulos pretos na planta baixa indicam a localização dos Data loggers.

O ganho de calor solar é minimizado pelo isolamento térmico da cobertura. O ganho solar é minimizado pela varanda e pelos beirais. As aberturas em todas as fachadas e o fato de manterem as portas abertas, permite uma boa ventilação interna.

3.1.3 Propriedades Térmicas da envoltória das edificações monitoradas

Os fechamentos, os materiais usados, sua transmitância, relação de áreas de uso pela área de aberturas, todos estes aspectos são diferentes entre as edificações. Na tabela abaixo demonstra-se as diferentes propriedades e relações de taxas de cada edificação.

Pela tabela 3.1 percebe-se pelo índice de compactidade, que é a taxa de área fechada pelo volume da edificação, que as edificações apresentam valores praticamente iguais. Mas quando passa-se para a taxa de área de uso pela área da envoltória há uma grande variação. A residência 1 apresenta o maior valor, demonstrando que tem a menor envoltória com relação a sua área interna. A residência 2 apresenta valor também alto, e a residência 3 e a casa 4 apresentaram valores menores que 0.5, o que significa uma maior área do envelope em contato com o ambiente externo proporcionalmente a sua área de uso fechada. A relação da área da cobertura com a área da envoltória, também é menor para a residência 1

e 2, sendo que a residência 3 e a casa 4 apresentaram maior proporção. Isto se deve ao fato de que as duas últimas edificações são distribuídas mais horizontalmente, tendo mais ambientes diretamente abaixo da cobertura.

Com relação às aberturas, a taxa de área de esquadrias pela área interna, representando quanto proporcionalmente tem de abertura por piso, é maior na residência 3, que possui grandes esquadrias para permitir uma boa ventilação e apreciação da vista. A residência 2 apresentou para esta relação um valor em torno de 27%, enquanto a residência 1 em torno de 19%, e a casa 4 apenas 15%. Quando se compara a relação de área de esquadrias por área de paredes, a sequência continua a mesma da taxa de abertura por piso.

Com relação à área de esquadrias pela fachada em cada orientação, torna-se difícil comparar as edificações entre si, pois estas diferem bastante em relação à orientação de suas fachadas. A análise abaixo será feita por edificação.

A residência 1 apresenta maior relação de esquadrias por área de fachada principalmente na suas orientações sudeste e noroeste, que são de certa forma as orientações frontal e posterior. A menor taxa é na orientação sudoeste, pois nesta face a edificação possui uma parede cega no andar social, no andar íntimo apenas aberturas de banheiro, e uma abertura no sótão.

A residência 2 apresenta maior relação de esquadrias por área de fachada principalmente na suas orientações sul, sudeste e norte. Na orientação sul e sudeste este valor é alto devido a pouca área de fachada e as aberturas ocuparem boa parte de sua área. A fachada norte apresenta uma grande área de fachada, e nesta fachada estão orientadas as aberturas dos dormitórios e do ambiente de estar e jantar. As menores taxas ficam por conta da orientação noroeste, que tem apenas uma abertura no dormitório dos filhos, e a fachada sudoeste onde aparecem os ambientes de serviço e banheiros.

A residência 3 possui maior relação de esquadrias por área de fachada principalmente na suas orientações norte e oeste. Isto se deve ao fato de tentar aproveitar ao máximo a vista na orientação oeste, e a norte a orientação solar. As menores taxas sobram para as orientações leste e sul, que apresentam aberturas de banheiros, um dormitório e um pano de vidro. A orientação leste é prejudicada pela encosta do morro no qual a edificação foi implantada.

Tabela 3.1 Propriedades térmicas e taxas da envoltória das edificações monitoradas.

	Resid. 1	Resid. 2	Resid. 3	Casa 4
Taxa área uso (fechada) / volume (fechado) m^2/m^3	0.34	0.35	0.36	0.36
Taxa área uso (fechada) / área da envoltória (+cobertura)*	0.70	0.66	0.47	0.42
Taxa área cobertura / área da envoltória (+cobertura)*	0.30	0.33	0.41	0.45
orient. Norte Taxa área esquadrias / área fachada (%)	10.03	24.07	35.77	7.45
orient. Nordeste Taxa área esquadrias / área fachada (%)	-	4.21	-	-
orient. Leste Taxa área esquadrias / área fachada (%)	29.34	15.90	12.65	17.33
orient. Sudeste Taxa área esquadrias / área fachada (%)	35.47	32.57	-	-
orient. Sul Taxa área esquadrias / área fachada (%)	27.75	48.03	10.47	14.89
orient. Sudoeste Taxa área esquadrias / área fachada (%)	4.21	9.04	-	-
orient. Oeste Taxa área esquadrias / área fachada (%)	16.26	12.25	40.30	6.54
orient. Noroeste Taxa área esquadrias / área fachada (%)	34.89	21.13	-	-
Taxa área esquadrias / área paredes	19.29	26.67	31.56	11.62
Taxa área esquadrias / área uso (fechada)	18.77	27.21	39.70	15.09
"U" parede ($W/m^2.K$) *	2.01	1.62	3.49	1.80
"U" parede ($W/m^2.K$) **	-	1.59	2.76	-
Ct parede ($kJ/m^2.K$) *	257.00	258.00	170.00	41.00
Ct parede ($kJ/m^2.K$) **	-	288.00	153.00	-
Atraso Térmico parede * (horas)	6.30	6.30	3.24	1.70
Atraso Térmico parede ** (horas)	-	6.80	3.20	-
"U" cobertura *** ($W/m^2.K$)	2.00	1.11	1.11	0.44
"U" cobertura **** ($W/m^2.K$)	1.92	-	-	-
Ct cobertura *** ($kJ/m^2.K$)	32.00	32.00	32.00	63.00
Ct cobertura **** ($kJ/m^2.K$)	113.00	-	-	-
Atraso Térmico cobertura *** (horas)	1.30	2.00	2.00	4.80
Atraso Térmico cobertura **** (horas)	3.60	-	-	-

* Refere-se à parede da residência 2 conforme figura 3.16 e na Residência 3 a figura 3.23.

** Refere-se à parede da residência 2 conforme figura 3.16 mais reboco interno, e na residência 3 conforme figura 3.24.

*** Refere-se à cobertura da residência 1 sem laje.

**** refere-se à cobertura da residência 1 com laje.

A casa 4 possui maior relação de esquadrias por área de fachada principalmente na suas orientações leste e sul, e menor relação nas orientações norte e oeste. A oeste apenas encontram-se aberturas da cozinha e banheiro, e na fachada norte apenas a abertura de um dormitório.

A análise da transmitância térmica das paredes entre as edificações mostra que a residência 2 apresenta o menor valor. A residência 1, devido a problemas durante a sua execução, possui parte de sua parede a sudoeste em alvenaria maciça apenas. Mas a maior parte da envoltória é constituída de alvenaria dupla. A transmitância térmica da casa 4 apresentou valor próximo ao da residência 1. A residência 3 foi a edificação com os maiores valores de transmitância térmica. A capacidade térmica das paredes da casa 4 foi a mais baixa, visto que apresenta duas lâminas de madeira de 1.5cm separadas por uma câmara de ar, e as outras edificações possuem alvenaria em tijolos. O maior atraso térmico pelas paredes, em torno de 6 horas, é percebido na residência 2 e 1. A residência 3 apresentou um atraso de aproximadamente 3 horas, e a casa 4 de quase 2 horas.

Com relação à transmitância térmica pela cobertura, a casa 4 foi a que apresentou menor valor, devido à presença de dois materiais de isolamento térmico. A residência 2 e 3 possuem em sua cobertura uma lâmina de alumínio, por isto tem seus valores iguais. Para o cálculo da transmitância térmica da cobertura, o alumínio foi considerado polido apenas na face inferior. A residência 1 não possui nenhum tipo de isolamento térmico em sua cobertura, mas nos ambientes que tem forro de laje, o valor da transmitância térmica é menor. O maior atraso térmico na cobertura ocorre na residência 2, nos ambientes aonde além do alumínio na cobertura, tem um forro de laje. A casa 4 apresentou também um grande atraso térmico devido a sua composição com o uso de dois isolamentos térmicos. O atraso térmico na residência 1 também é grande nos ambientes que tem forro de laje, e no sótão que está logo abaixo da cobertura, este atraso térmico é um pouco mais de 1 hora. Na residência 2 e 3 nos ambientes que não tem laje, apenas a colocação da folha de alumínio na cobertura, e forro de madeira acompanhando a inclinação do telhado, o atraso térmico é de 2 horas.

As tabelas 3.2 a 3.5 apresentam os valores de efusividade térmica para as quatro edificações.

Tabela 3.2 Efusividade térmica Ambientes Internos Residência 1.

Residência 1	Efusividade média $W_s^{0.5} m^{-2} K^{-1}$
Cozinha	1396.68
Estar/Jantar	1391.66
Sala TV	1233.84
Dormitório	1283.48
Sótão	476.40

Tabela 3.3 Efusividade térmica Ambientes Internos Residência 2.

Residência 2	Efusividade Média $W_s^{0.5} m^{-2} K^{-1}$
Cozinha	1266.87
Dormitório	1197.89
Estar/jantar/ escritório	1135.37
Garagem	1446.57

Tabela 3.4 Efusividade térmica Ambientes Internos Residência 3.

Residência 3	Efusividade Média $W_s^{0.5} m^{-2} K^{-1}$
Copa	1524.98
Dormit. 1	1370.86
Dormit. 2	1372.62
Dormit. 3	1139.91
Escritório	1403.06
Porão	2099.76

Tabela 3.5 Efusividade térmica Ambiente Interno Casa 4.

Casa 4	Efusividade Média $W_s^{0.5} m^{-2} K^{-1}$
Interno	615.47

A efusividade por ser uma propriedade de superfície, difere de ambiente para ambiente, mesmo dentro de uma mesma edificação. Quanto maior o valor da efusividade térmica, maior sua facilidade em absorver o calor. A efusividade foi ponderada pela área de cada material que compõe as paredes, teto e piso de cada ambiente. A residência 3 apresentou, de maneira geral, a maior facilidade em absorver o calor do ambiente interno, seguido pela residência 1, e pela residência 2. A Casa 4 apresentou o valor mais baixo de

afusividade média de todas as edificações, só não ficando mais baixo do que o ambiente do Sótão da residência 1.

3.2 Período das medições

As medições nas residências no bairro da Lagoa da Conceição começaram no dia 30.04.1998 e foram até o dia 31.12.1998.

As medições na casa 4 restringiram-se ao mês de setembro e outubro.

A aquisição de dados da temperatura de bulbo seco foi feita de $\frac{1}{2}$ em $\frac{1}{2}$ hora, e integrada para base horária. A temperatura média dentro de uma determinada hora é registrada ao final de cada hora. Ou seja, se a aquisição ocorreu às 13:15 h. e 13:45 h., é feita a média das duas temperaturas, e seu valor é registrado às 14:00 h.

3.3 Apresentação dos dados medidos

A apresentação dos dados de temperatura medidos nas quatro edificações foi feita de seis maneiras distintas, para uma melhor comparação e compreensão das edificações frente às condições climáticas externas. As formas de apresentação dos dados medidos e tratados para análise são explicadas nos itens 3.3.1 a 3.3.6.

3.3.1 Gráfico de distribuição de temperaturas

As temperaturas internas e a externa medida em cada edificação foram plotadas hora a hora junto com os dados de temperatura de bulbo seco e radiação global medidos pelo Labsolar - UFSC. Esta distribuição de temperaturas mostra claramente como comporta-se a edificação com a entradas de frentes frias, dias com muita radiação, quedas e altas de temperatura externa, entre outros.

3.3.2 Gráfico de amplitude térmica diária

Para este gráfico é feita a subtração entre o valor máximo e mínimo de temperatura diária medidos em cada edificação, de forma a se poder comparar a amplitude externa com as amplitudes internas.

3.3.3 Atraso Térmico diário

O atraso térmico diário foi calculado obtendo-se a hora em que ocorreu a maior temperatura externa, e internamente procura-se a partir desta hora máxima externa, a hora

em que ocorreu a maior temperatura interna. Alguns valores de atraso térmico apareceram extremamente altos, e outros nulos. Isto pode ocorrer quando há uma variação não homogênea de temperatura durante um período, ou a máxima temperatura externa diária ocorre no período noturno.

3.3.4 Amortecimento térmico diário

No cálculo da capacidade de amortecimento da equação 2.7, é preciso conhecer a temperatura superficial interna do fechamento e a amplitude externa. O amortecimento térmico diário neste trabalho refere-se ao ambiente, e não ao fechamento, por isso o amortecimento térmico diário calculado é a relação entre a amplitude interna de cada ambiente pela amplitude externa.

3.3.5 Somatório de Graus Hora

O critério de $\Sigma^{\circ}\text{C}^*\text{h}$ (somatório de graus hora) é determinado usando-se uma temperatura base, onde faz-se a somatória dos graus que excedam ou estejam abaixo do limite estipulado. As temperaturas bases para análise de calor variam em 2 K em 2 K, entre 21°C e 29°C. As bases de temperatura para análise de frio variam também em 2 K, mas de 19°C a 13°C. Os ambientes internos das edificações foram comparados com o ambiente externo. Duas informações são retiradas do conceito de $\Sigma^{\circ}\text{C}^*\text{h}$ (somatório de graus hora), o **h.**, que é o número de horas que estiveram acima, ou abaixo da base estipulada, e o **g.m.** (grau médio), que é a razão do somatório de graus hora pelo número de horas acima, ou abaixo da base estipulada, ou seja, a média dos graus hora. Esta média será citada durante o texto como **g.m.** ou grau médio. E as horas acima ou abaixo das bases analisadas e o grau médio é que são plotadas em gráficos para comparação.

As tabelas com os valores calculados de graus hora de desconforto de cada edificação durante o período das medições, estão na home page do LabeEEE (<http://www.labeee.ufsc.br/sobre/so-tdd.html>).

3.3.6 Carta Bioclimática

Usando-se a Carta Bioclimática de Givoni, faz-se uma comparação entre a porcentagem de horas em conforto e desconforto externo e interno. Os dados de

temperatura externa referem-se aos do Labsolar - UFSC, enquanto os internos foram os medidos em cada edificação.

Os dados de umidade relativa por não terem sido medidos nas edificações foram usados os medidos no Labsolar - UFSC. Esta simplificação foi feita para agilizar a entrada de dados no software Analysis. Medições de umidade relativa interna deveriam ter sido feitas para um melhor resultado para análise com o uso da Carta Bioclimática. Uma forma mais aproximada para caracterizar a umidade interna seria, calcular a umidade absoluta externa em função da umidade relativa e da temperatura de bulbo seco externa, com o valor da umidade absoluta externa e a temperatura interna, calcular a umidade relativa interna. Este cálculo não leva em consideração os ganhos de umidade internos (cocção, higienização, etc), e também a umidade do ambiente externo no qual a edificação está localizada, visto que os dados foram medidos no Campus Universitário. Este cálculo para conversão de umidade absoluta para umidade relativa exige um processo de cálculo interativo, o qual não foi desenvolvido para a análise deste item.

As estratégias indicadas para o clima de Florianópolis citadas no item 2.1.3. da Revisão Bibliográfica são relativas ao ano climático de referência (TRY).

4 Apresentação dos Resultados

4.1 Caracterização do clima de abril a dezembro de 1998

No período das medições, abril a dezembro de 1998, as temperaturas médias diárias apresentaram-se mais baixas do final do mês de maio ao início do mês de setembro, conforme pode ser visto na figura 4.1. Uma alta da temperatura média diária ocorreu no início do mês de abril, e a partir do final de outubro houve um crescimento gradativo de temperaturas até dezembro. Pela distribuição percebe-se a periódica queda de temperatura causada pela entrada de frentes frias. A descontinuidade na linha de distribuição da temperaturas médias diárias na figura 4.1 representam a falta de aquisição de dados nestes dias.

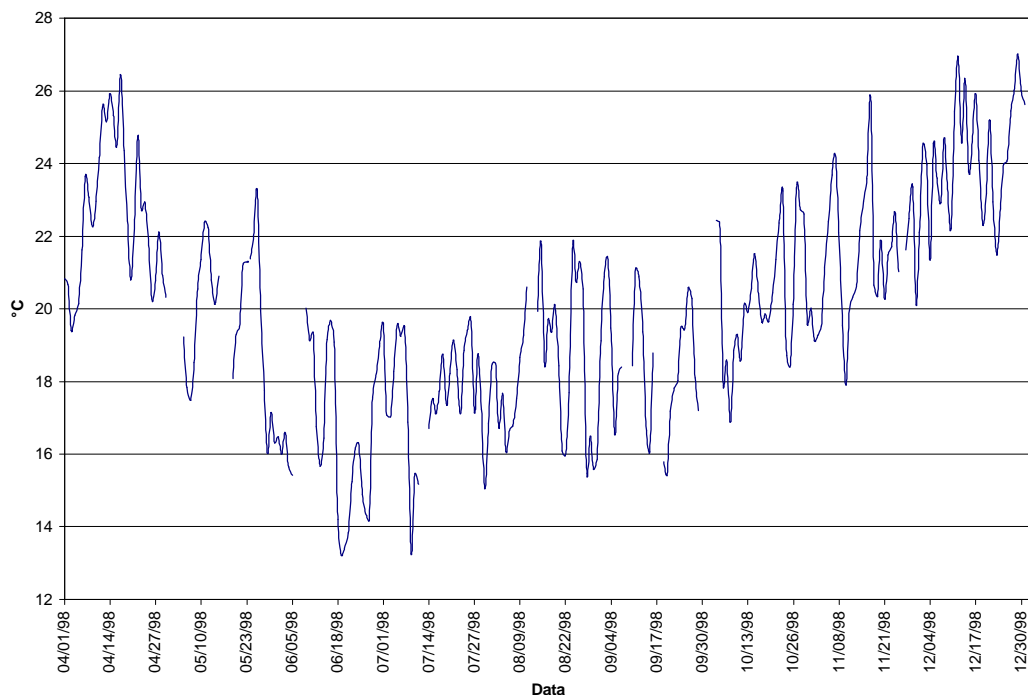


Figura 4.5 Distribuição de média diária de TBS - período 01/04/1998 a 31/12/1998

Fonte: Labsolar - UFSC.

A temperatura média no período das medições foi de 20.0°C, sendo que a mínima temperatura do período foi de 8.71°C e ocorreu no mês de junho às 8:00 h., a temperatura máxima foi de 33.6°C no mês de dezembro às 14:00 hs.

Uma outra variável que caracteriza o clima de Florianópolis é a umidade relativa alta. Pela figura 4.2 percebe-se uma predominância de valores de Umidade Relativa média diária acima de 70%.

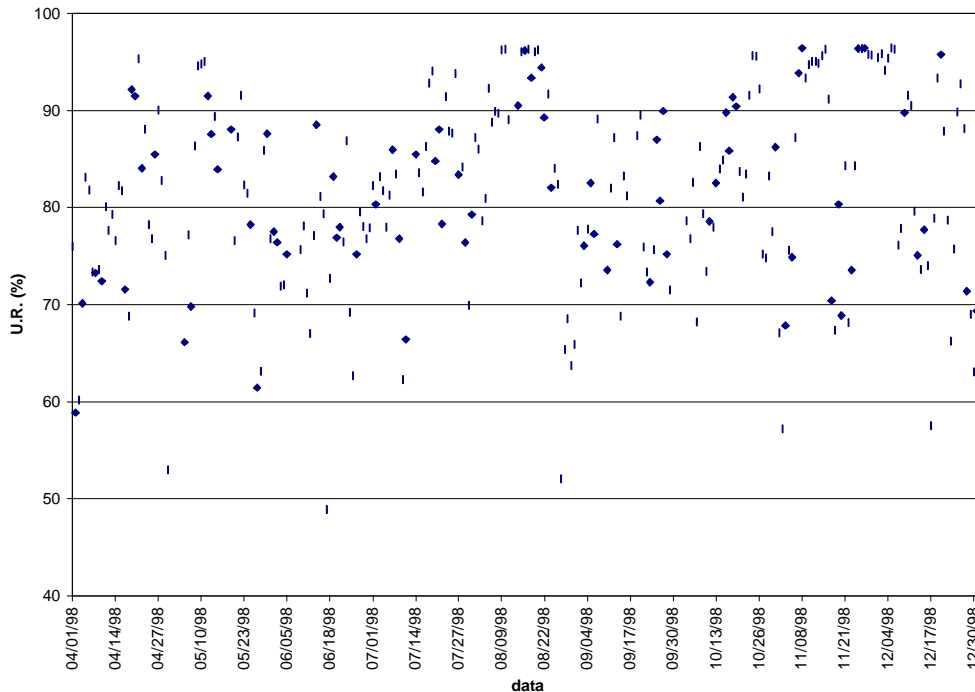


Figura 4.6 Umidade Relativa média diária de Florianópolis período 01/04/1998 a 31/12/1998. Fonte: Labsolar - UFSC.

A umidade relativa mínima do período foi de 31.7%, e a máxima foi de 98.3%, sendo que a umidade relativa média do período foi de 81.3%.

Os valores médios de TBS e umidade relativa do período são próximas dos valores médios anuais encontrados em GOULART (1997), que foram respectivamente 20.5°C e 83%.

A radiação neste período mostrou-se bastante atípica. Foi um ano bastante chuvoso, com poucos dias de sol no período mais frio.

Pela figura 4.3 é visível que há uma tendência bastante acentuada no decréscimo de radiação no período de final de abril a final de agosto. A partir do final do mês de agosto, apesar de alguns dias de pouca radiação, a quantidade de radiação solar global começou a subir, intercalando-se com dias de pouca radiação.

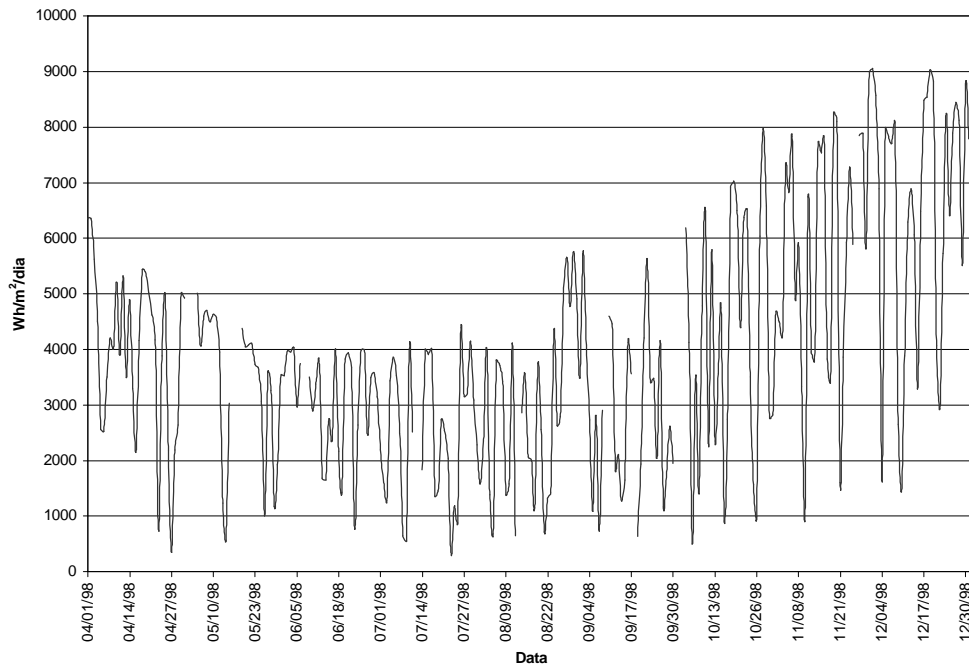


Figura 4.7 Radiação Global diária - período 01/04/1998 a 31/12/1998. Fonte: Labsolar - UFSC.

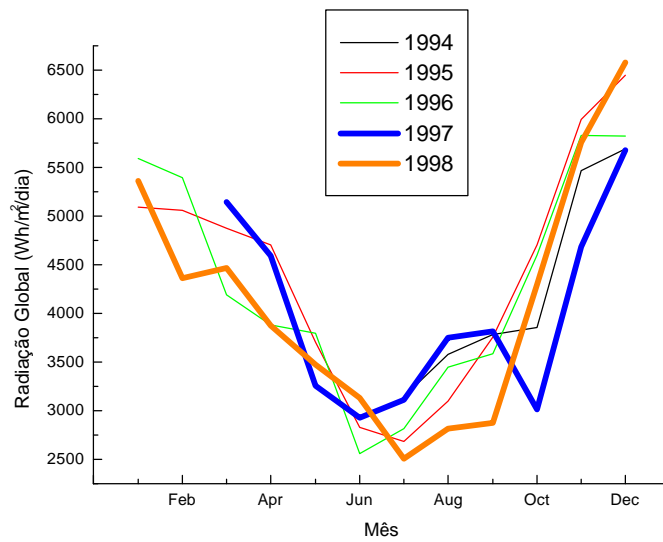


Figura 4.8 Média mensal da Radiação Global diária anos de 1994 a 1998 - Fonte: Ricardo Rütther, Labsolar - UFSC.

A descontinuidade na linha de distribuição da radiação total diária na figura 4.3 representam a falta de aquisição de dados nestes dias. O menor valor de radiação total

diário foi de 305 Wh/m²/dia, o valor máximo foi de 9057 Wh/m²/dia, e o valor médio para o período foi de 3962 Wh/m²/dia.

Este ano mostrou-se bastante atípico com relação aos quatro anos anteriores nos primeiros meses do ano. Na figura 4.4 elaborada pelo Dr. Ricardo Rütther - Labsolar / UFSC percebe-se a diferença nos valores de radiação até o mês de setembro do ano de 1998 com os quatro anos anteriores. Os valores da tabela são a média mensal da radiação global diária.

4.2 Resultados Encontrados

A aquisição dos dados de temperatura nas edificações foi feita durante 9 meses, mas para apresentar os resultados de maneira simplificada, optou-se por caracterizar o desempenho das edificações frente a três estações distintas do ano em Florianópolis:

1. Meia estação, clima ameno: início do mês de maio, de 5 a 15, ocorreram dias frios, seguidos de três dias mais quentes, e por último a entrada de uma frente fria;
2. Estação fria: no final do mês de junho, do dia 20 a 30, ocorreram dias com temperaturas mais baixa, com sequência de dias frios com grande amplitude térmica, intercalado com dois dias com pequena amplitude térmica.
3. Estação quente: no mês de novembro, as temperaturas externas e a radiação encontravam-se mais altas, e a sequência de dias escolhidos foi de 15 a 25, pois representa dias quentes intercalados com dias frios.

O período escolhido dentro destas três estações distintas foi feito de forma a ter-se sempre a alternância de entrada de frentes frias com dias mais quentes.

A totalidade dos dados horários de temperaturas internas medidos, de abril a dezembro das três primeiras edificações, e de setembro e outubro da quarta edificação, encontram-se disponíveis na Home Page do LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.labeee.ufsc.br/sobre/so-tdd.html>).

Os resultados encontrados serão apresentados por edificação monitorada, e no capítulo 5 (Análise dos dados) será feita a comparação entre as edificações.

As figuras de distribuição das temperaturas internas mostram diferenças em dois ou mais dias com condições climáticas externas similares, isto se deve à ocupação, acionamento de lareiras, abrir ou fechar janelas, ganho solar, etc. Os dados tratados como a amplitude, atraso e amortecimento térmico, conseqüentemente também apresentaram diferenças frente a condições climáticas externas equivalentes.

As datas nas figuras apresentadas encontram-se com o formato americano, o mês antes do dia, e nas legendas das figuras e no restante do texto o formato segue o padrão europeu.

4.2.1 Residência 1

4.2.1.1 Distribuição de TBS diária

As figuras 4.5, 4.6 e 4.7 mostram a distribuição de TBS monitorada internamente e externamente na edificação, e os dados de TBS e radiação global medidos no Labsolar, para os três períodos determinados.

As medições de TBS feitas pelo Labsolar e a externa à edificação mostraram-se um pouco divergentes, sua maior diferença é percebida nas mínimas diárias, onde a temperatura do Labsolar tendeu a ser mais baixa.

Pelos gráficos percebe-se a constância da temperatura medida na cozinha, cerca de 1 K a 3 K acima dos outros ambientes internos. E a temperatura interna da cozinha não necessariamente seguiu a tendência da temperatura externa, ou da radiação. Este fato é explicado pela presença de tubulação de água quente sem isolamento passando pelas paredes deste ambiente.

O sótão é o ambiente interno que é mais influenciado pelos extremos da temperatura externa. Quando há uma acentuada queda ou aumento brusco de temperatura externa, o sótão é o ambiente que mais se aproxima da mesma. No mês de novembro a temperatura interna do sótão seguiu bem próxima à temperatura externa causado principalmente pela radiação alta. Mas a temperatura alta em um dia com menor radiação também fez com que o sótão apresentasse temperatura interna alta. No período de meia estação a radiação e a temperatura externa não estiveram tão altas quanto no período quente, e conseqüentemente o sótão seguiu a temperatura externa, mas a temperatura máxima do sótão não alcançou a temperatura máxima externa. No período mais frio, a temperatura do sótão foi menos influenciada pela temperatura externa.

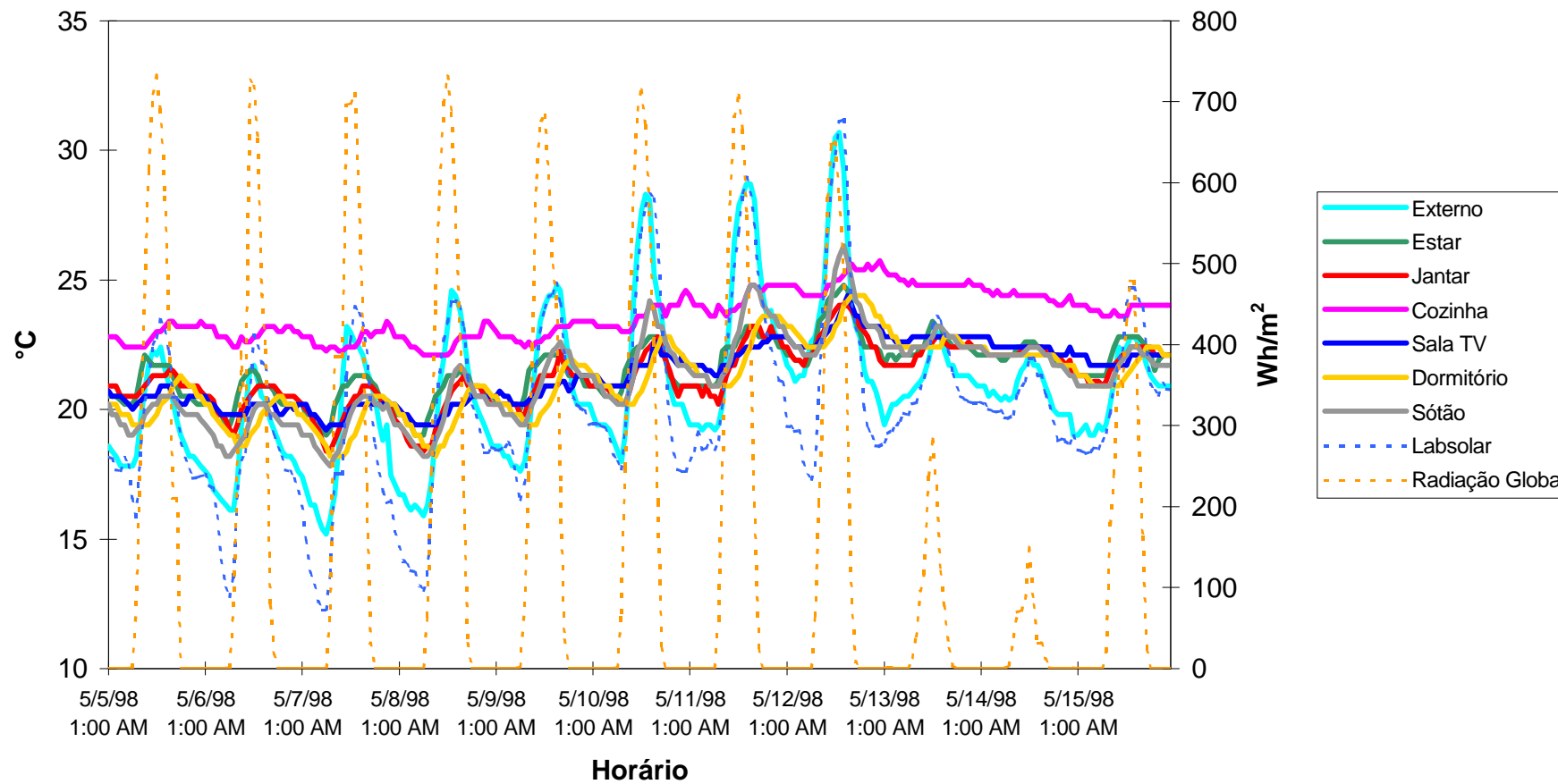


Figura 4.9 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 1 – período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

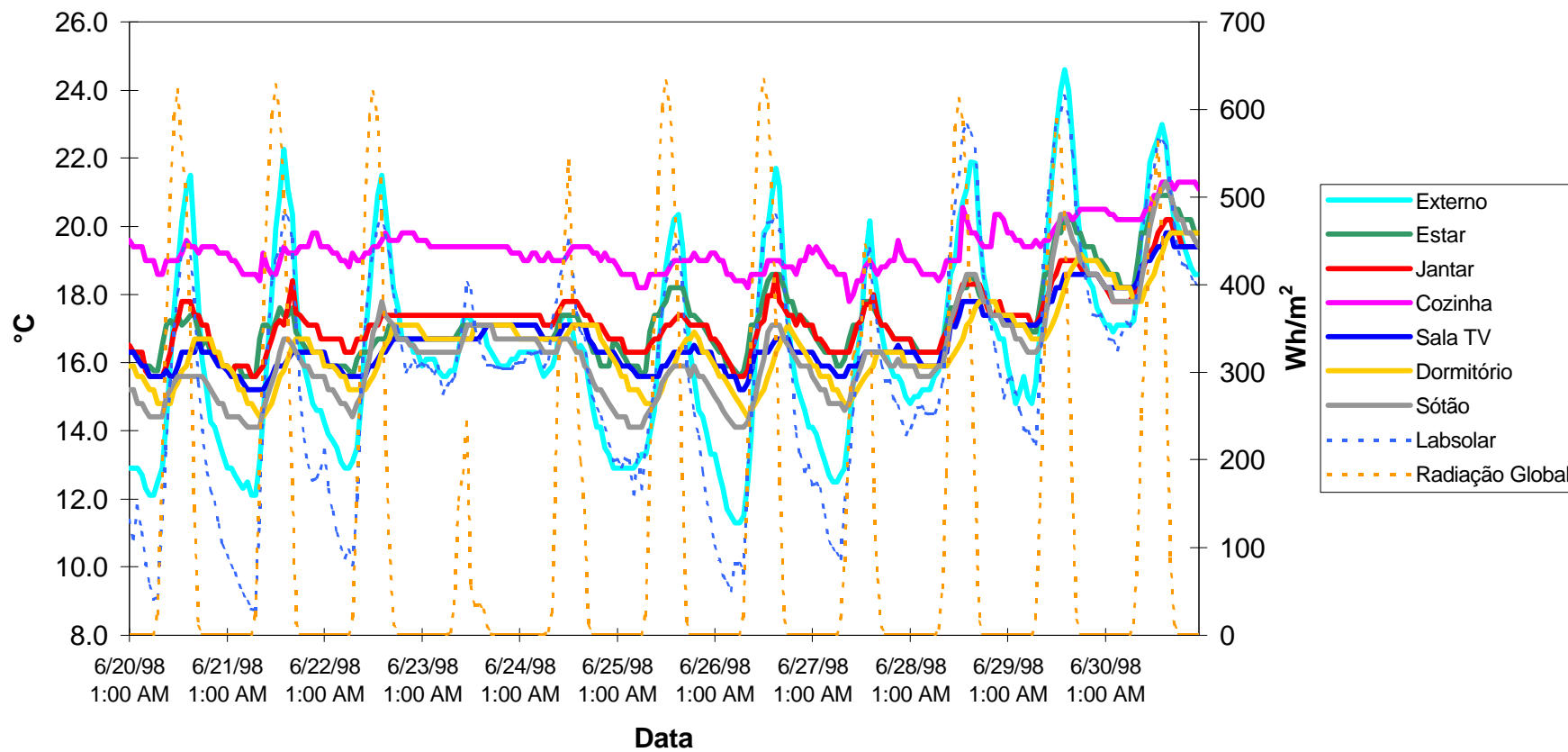


Figura 4.10 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 1 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

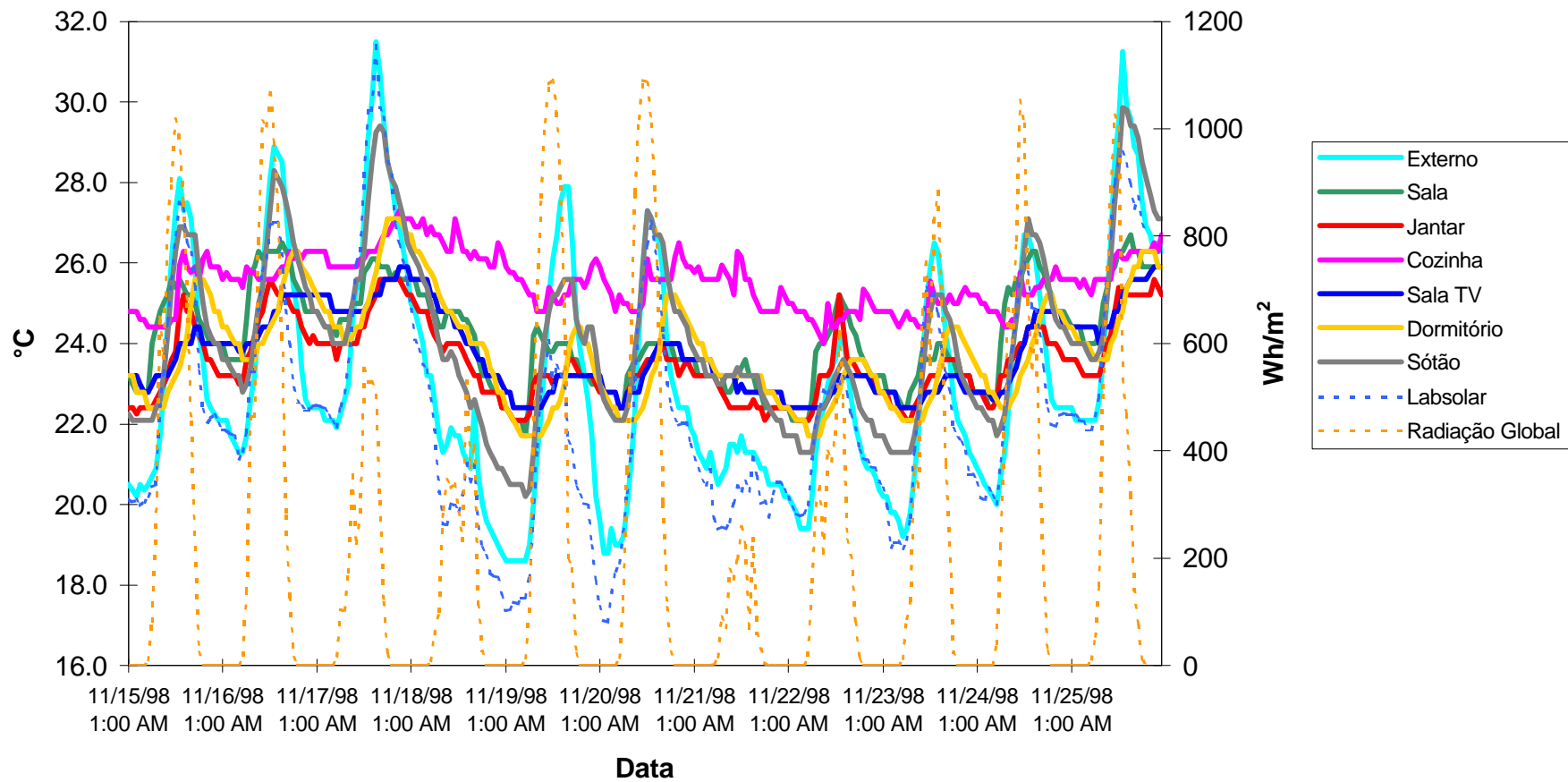


Figura 4.11 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 1 – período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

O dormitório tem a mesma orientação do sótão, mas fica no andar inferior. O ambiente dormitório teve desempenho diferenciado nos três períodos. No período mais quente apresentou grandes picos de temperatura interna, e no período noturno apresentou uma grande diminuição de temperatura. Foi o ambiente que apresentou temperaturas acima da média dos outros ambientes (exceptuando-se cozinha e sótão). No período de meia estação suas temperaturas máximas não foram tão altas quanto a dos outros ambientes internos, mas apresentava suas temperaturas mínimas abaixo das temperaturas internas dos outros ambientes. No período frio as temperaturas internas mínimas foram menores do que os outros ambientes, mas suas temperaturas máximas diárias estiveram abaixo de ambientes como o estar e o jantar. Este dormitório só é usado periodicamente por visitas.

O ambiente Sala de TV apresentou uma distribuição de temperatura seguindo a tendência da distribuição externa durante todo o período da medição, porém mais constante.

Os ambiente do Estar e do Jantar apresentam suas distribuições de temperatura muito parecidas, pois são ambientes contíguos. A distribuição de temperatura dos dois ambientes não apresentou diferenças entre os três períodos analisados.

De uma forma geral, retirando-se desta análise os ambientes do sótão e da cozinha, os ambientes internos seguiram a distribuição de temperatura externa, mas com menor amplitude. Os picos máximos e mínimos são amortecidos, mas a edificação tende a se aproximar da temperatura externa nos fins de semana e nos dias de faxina, quando a edificação permanece mais tempo aberta.

A influência da radiação é principalmente percebida no ambiente da Sala de Estar. O pico de temperatura máxima do Estar (orientação leste) ocorre antes do pico de temperatura máxima externa, e dos outros ambientes internos.

Quando há uma sequência de dias quentes seguidos de uma entrada de uma frente fria, a edificação tende a não acompanhar a queda de temperatura externa. O primeiro dia de uma frente já é percebido por esta edificação, e quando a temperatura externa volta a subir, as amplitudes internas não são influenciadas logo no primeiro dia.

4.2.1.2 Gráficos de Amplitudes diárias

Os gráficos de amplitudes diárias apresentados correspondem ao mesmo período das figuras de distribuição de TBS.

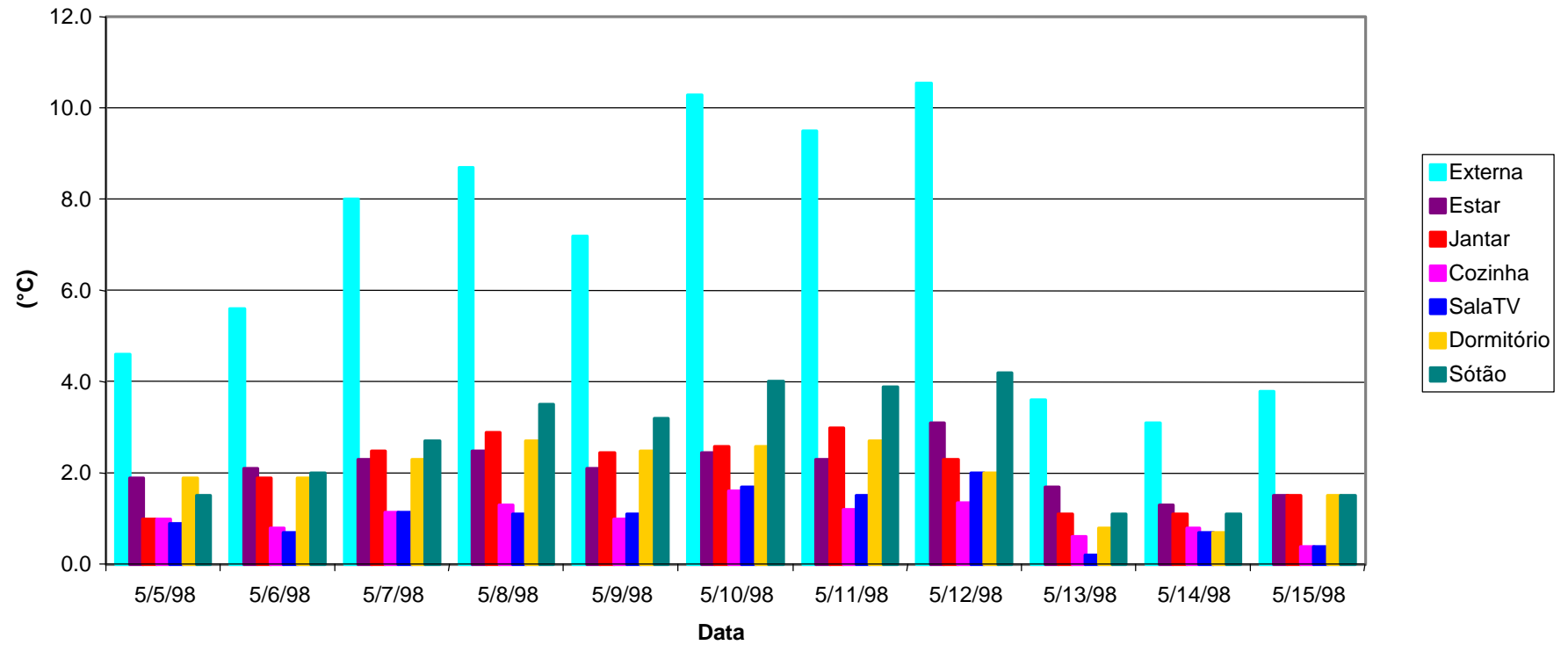


Figura 4.12 Amplitudes Térmicas Residência 1 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

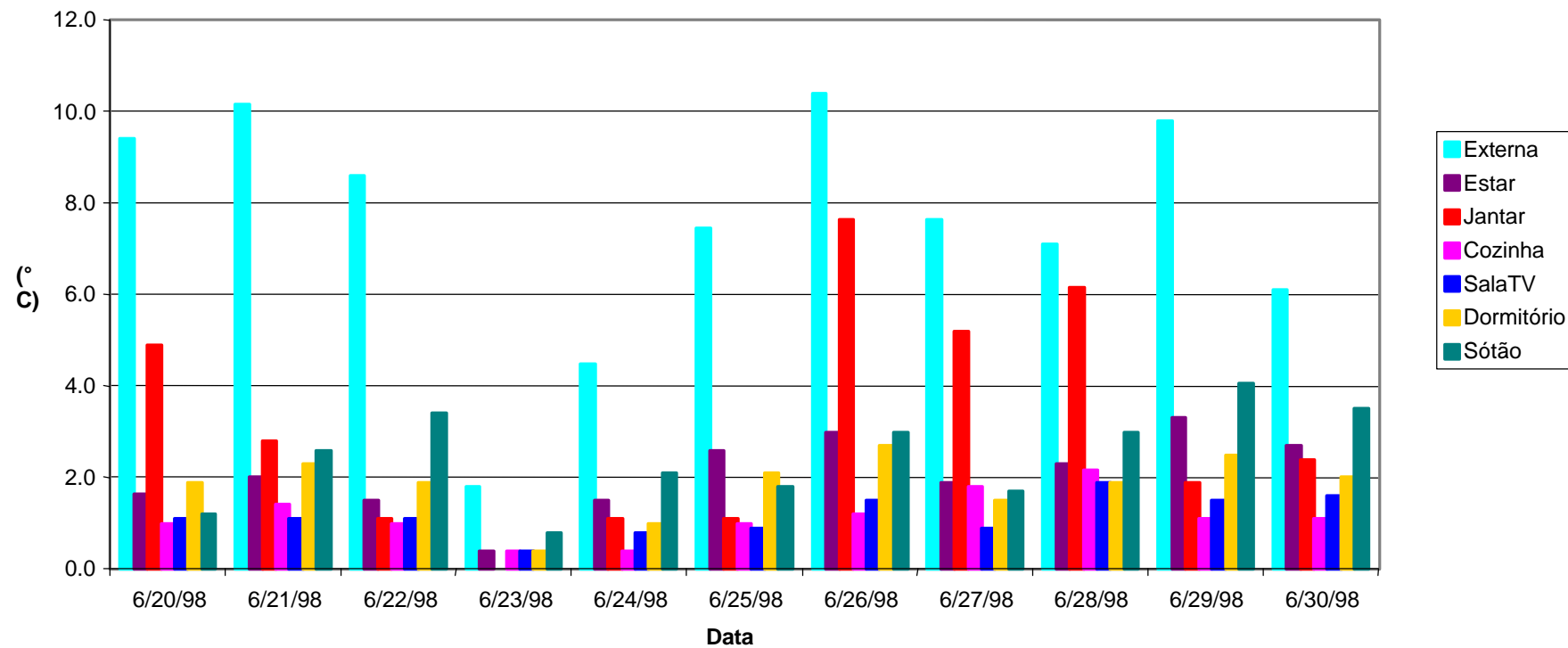


Figura 4.13 Amplitudes Térmicas Residência 1 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

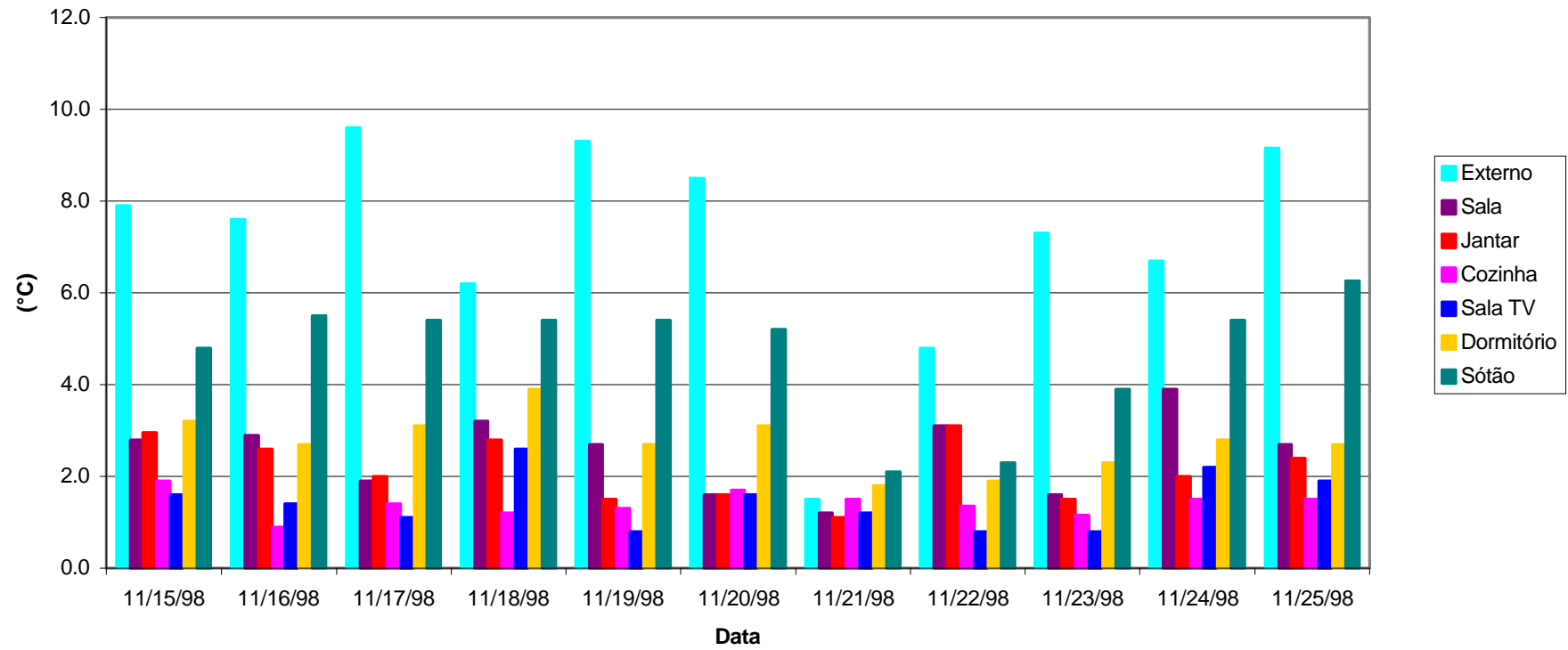


Figura 4.14 Amplitudes Térmicas Residência 1 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

Nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10 as amplitudes externas chegam a mais de 10 K, enquanto as amplitudes internas mantêm-se abaixo de 4 K. O ambiente Sala de Jantar apresentou valores de amplitudes acima da média dos outros ambientes internos, mas estes dias coincidiram com o dia de faxina ou fim de semana. Ou seja, os dias onde a janela de veneziana é aberta, permitindo um maior ganho solar no período vespertino.

O sótão é o ambiente interno que normalmente apresenta as maiores amplitudes internas. Esta maior amplitude está ligada ao fato do sótão ter um maior ganho solar pela cobertura e pela parede oeste, e ter facilidade de perda de calor pela cobertura no período noturno. Sua cobertura não possui nenhum tipo de isolamento térmico.

O dormitório é o segundo ambiente interno no período quente a apresentar as maiores amplitudes internas.

A cozinha apesar de apresentar sua temperatura interna acima dos outros ambientes, apresenta amplitude pequena em todos os períodos analisados.

Os outros ambientes internos tenderam a apresentar uma amplitude máxima de 3 K, valores mais altos normalmente coincidem com fins de semana ou dia de faxina, e isto ocorre em todos os três períodos.

4.2.1.3 Amortecimento térmico

O amortecimento térmico superior e inferior da residência 1 são exemplificados nas figuras 4.11, 4.12 e 4.13.

O pico no índice de amortecimento do dia 21/11/1998 é devido ao fato da amplitude externa ter sido muito pequena, o que leva a um aumento do índice de amortecimento neste dia.

Nas figuras 4.11 a 4.13 percebe-se que os ambientes internos tiveram um melhor amortecimento no período mais frio, onde a radiação foi menor, já no período ameno e quente o desempenho diminui. Os ambientes internos com melhor amortecimento térmico nos três períodos são a Cozinha e a Sala de TV. O amortecimento destes ambientes esteve em torno de 0.15 no período ameno e frio, e em torno de 0.2 no período quente.

Os ambientes: Sótão, Dormitório, Sala de Estar e Jantar, apresentaram os piores índice de amortecimento. Este índice piora com o aumento das temperaturas externas, mas chega ao máximo de 0.5.

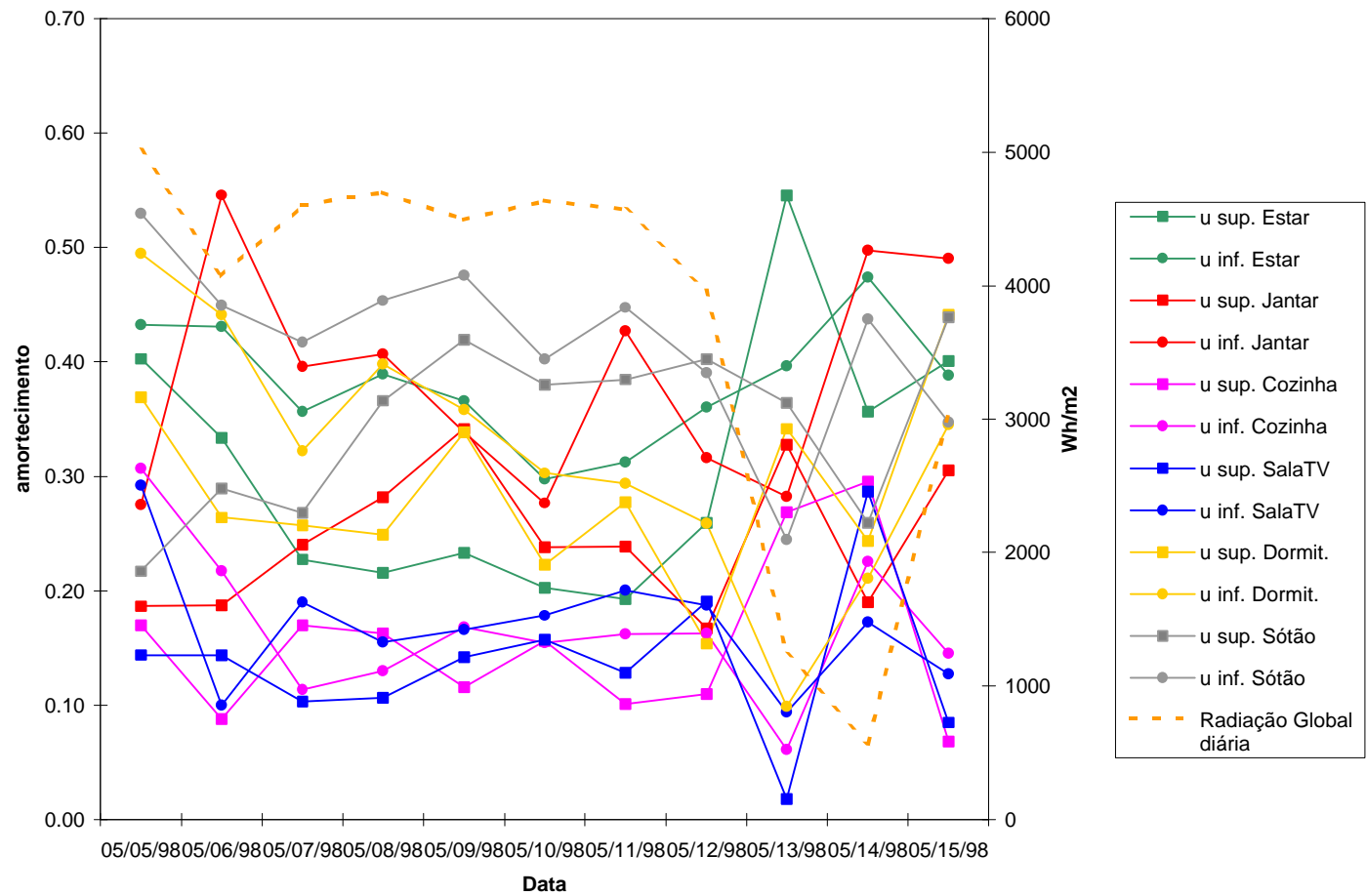


Figura 4.15 Amortecimento térmico Residência 1 - período 05/05/1998 a 15/05/1998.

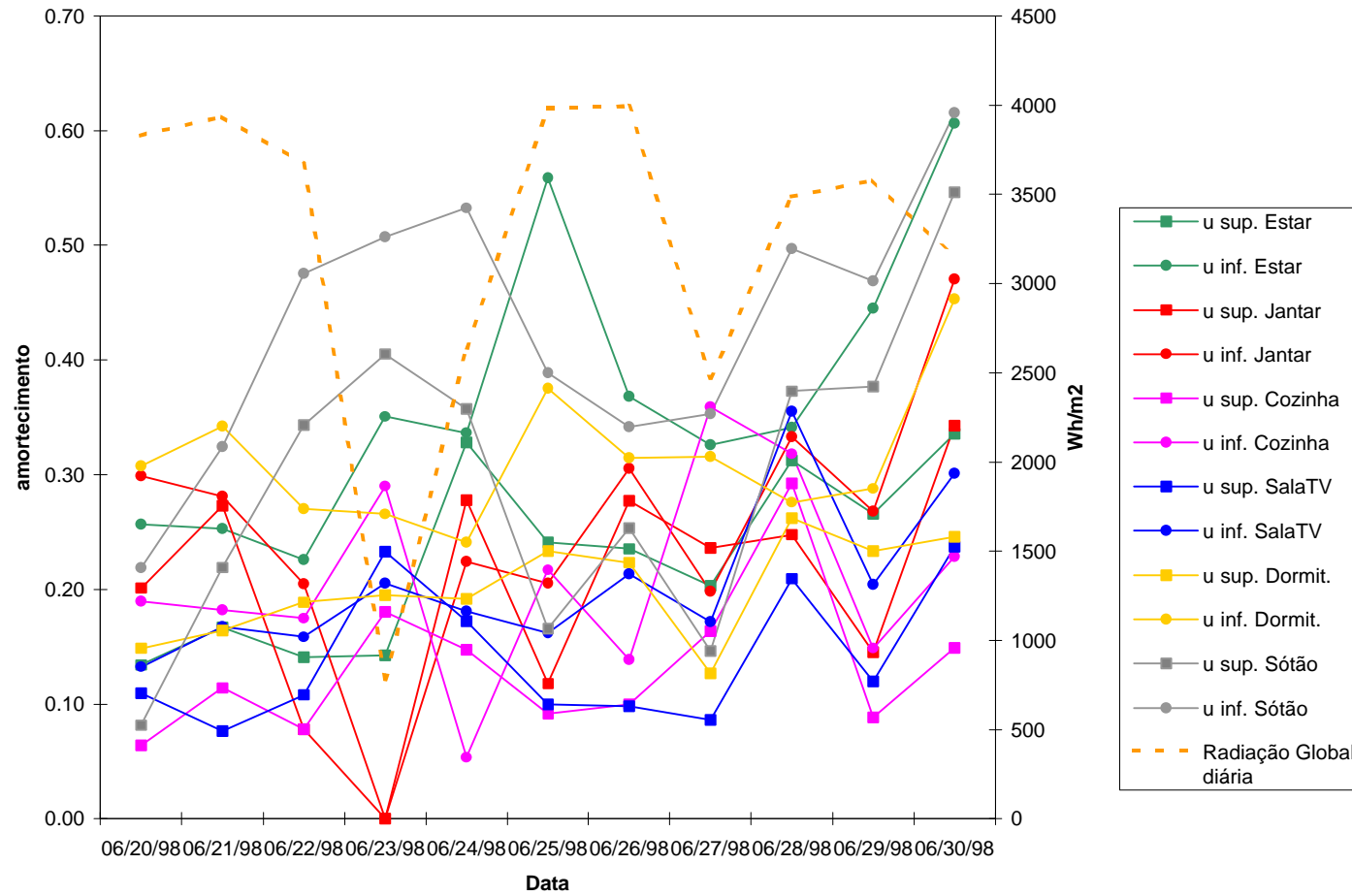


Figura 4.16 Amortecimento térmico Residência 1 - período 20/06/1998 a 30/06/1998.

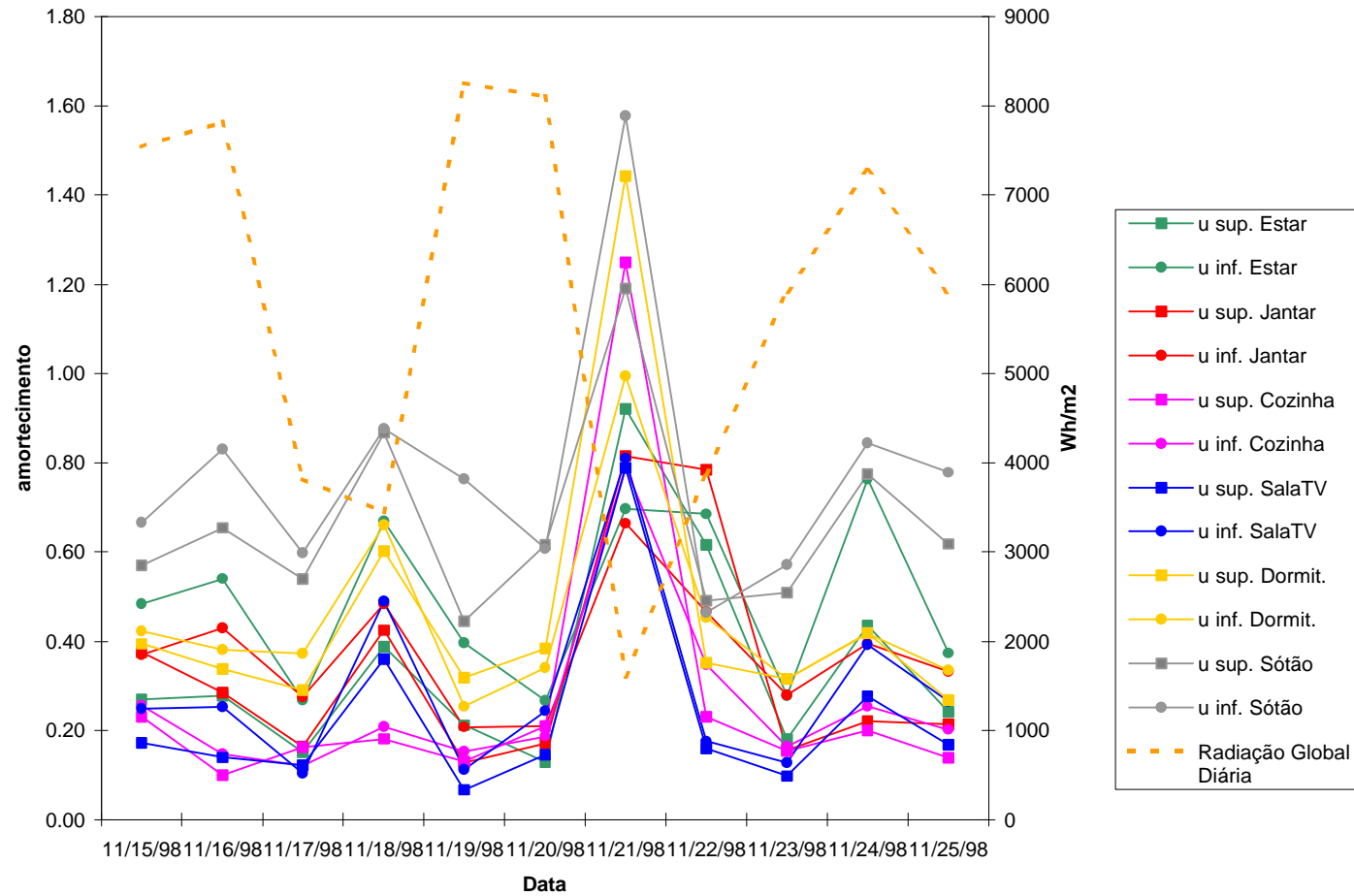


Figura 4.17 Amortecimento térmico Residência 1 - período 15/11/1998 a 25/11/1998.

O amortecimento superior mostrou-se mais efetivo do que o amortecimento inferior.

O amortecimento térmico do sótão piora com o aumento da temperatura e da radiação. Nos outros ambientes internos esta tendência de piorar o desempenho térmico com o aumento da radiação existe, mas não é tão perceptível.

4.2.1.4 Atraso Térmico

O atraso térmico demonstra a diferença de horas entre a temperatura máxima externa e a máxima temperatura ocorrida internamente.

As figuras 4.14, 4.15 e 4.16 exemplificam esta análise.

Pelas figuras percebe-se que a cozinha apresentou atraso térmico com mais de 9 horas em alguns dias. O ambiente da Cozinha não será considerada nesta apresentação dos resultados, pois este ambiente apresenta uma distribuição de temperatura acima dos outros ambientes causada pela canalização de água quente sem isolamento em suas paredes.

O atraso térmico do sótão ficou geralmente entre 1 e 3 horas. Nos dias onde ocorre uma queda de temperatura externa com relação aos dias anteriores, mas a radiação continua alta, o atraso térmico é maior. Um valor alto de atraso térmico deste ambiente ocorre quando a temperatura máxima externa ocorre durante a madrugada, ou quando provavelmente houve uma ocupação deste ambiente no período noturno.

No ambiente do dormitório percebe-se uma relação entre a radiação e um maior atraso térmico. Nos dias de baixa temperatura e com pouca radiação, o atraso térmico é pequeno ou inexistente. Nos dias de temperaturas baixas com radiação alta, o atraso térmico normalmente é grande. Provavelmente pelo ganho solar no período vespertino que só vai ser sentido no período noturno.

A Sala de TV apresenta grandes valores de atraso térmico, provavelmente devido à ocupação noturna deste ambiente.

O atraso térmico da Sala de Jantar se mantém normalmente entre 1 e 2 horas.

O atraso térmico do Estar quando aparece nos gráficos fica em torno de 1 e 2 horas, mas é mais comum não ocorrer. Isto se deve ao fato de sua temperatura máxima ocorrer antes da temperatura máxima externa, devido ao ganho solar matutino. Os dias que o estar apresenta maior atraso térmico normalmente é fim de semana, ou quando provavelmente houve ocupação deste ambiente no período noturno.

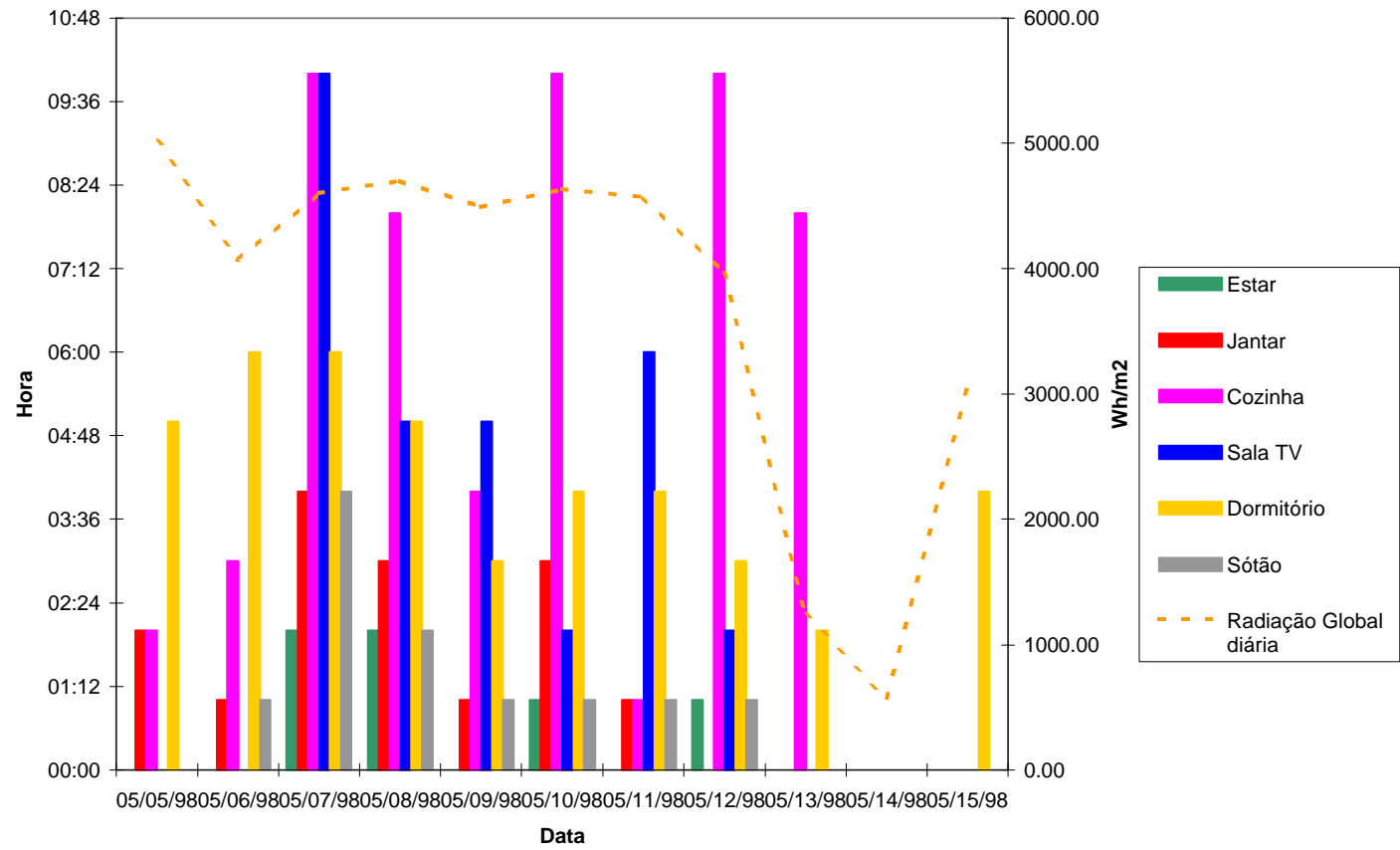


Figura 4.18 Atraso Térmico Residência 1 - período 05/05/1998 a 15/05/1998.

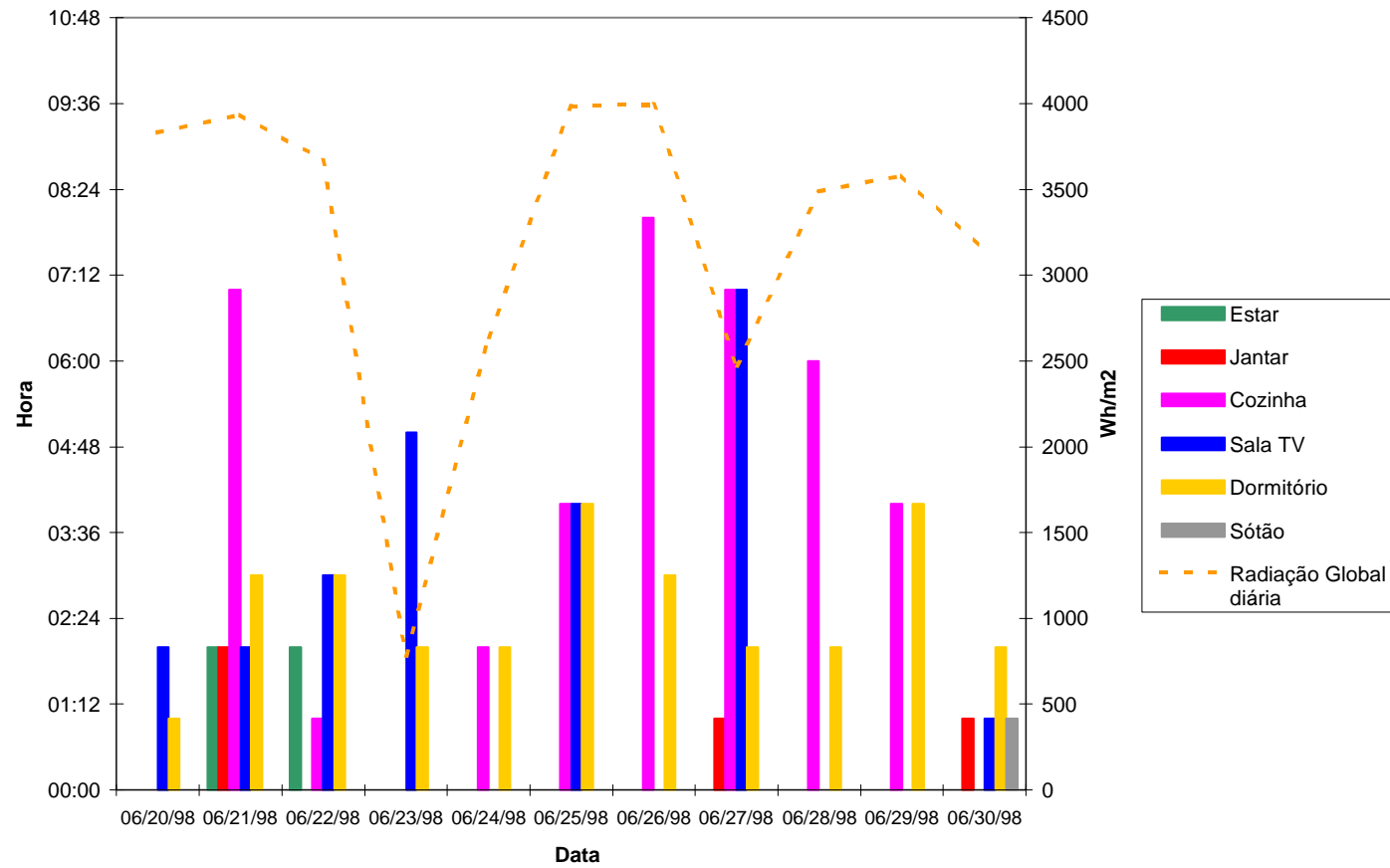


Figura 4.19 Atraso Térmico Residência 1 - período 20/06/1998 a 30/06/1998.

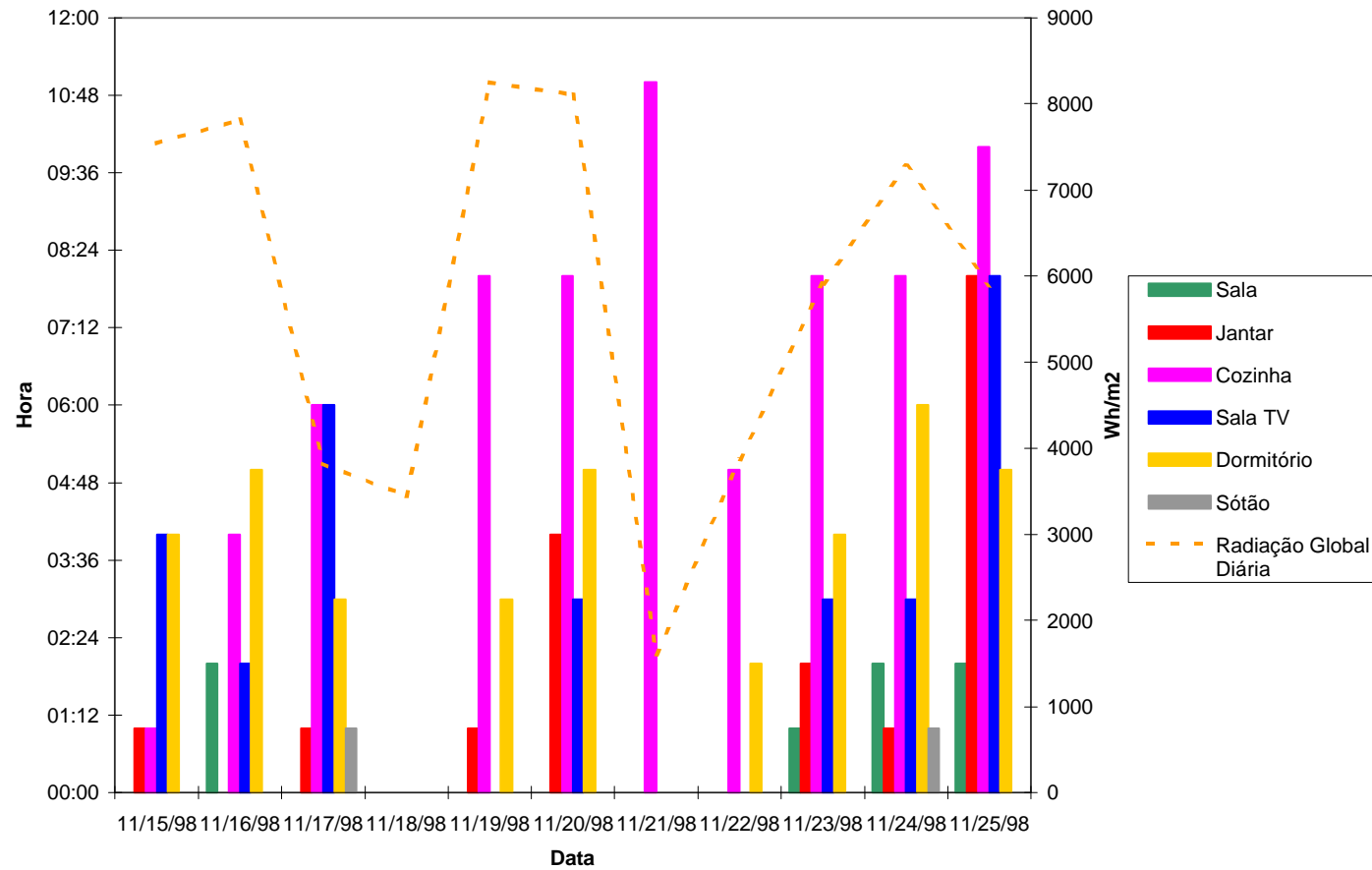


Figura 4.20 Atraso Térmico Residência 1 - período 15/11/1998 a 25/11/1998.

4.2.1.5 Somatório de Graus Hora

As figuras 4.17 a 4.24 mostram, nos nove meses de medição, o grau médio e a quantidade de horas acima ou abaixo de cada uma das bases de temperatura analisadas. As tabelas com os valores da análise de graus hora para as diferentes bases encontram-se na home page do LabEEE (<http://www.labeee.ufsc.br/sobre/so-tdd.html>).

As figuras 4.17 a 4.21 referem-se a análise de temperaturas acima das bases de 29°C a 21°C.

Nas bases de 27°C e 29°C, a quantidade de horas com temperaturas externa acima das respectivas bases só é superada pela cozinha e pelo sótão. O grau médio do sótão chega próximo ao grau médio externo nos meses de outubro a dezembro.

No mês de dezembro todos os ambientes internos apresentaram horas com temperaturas acima da base de 27°C. A cozinha aumentou em 119%, e o sótão em 49% as horas que o ambiente externo apresentou temperatura acima da base de 27°C. Todos os outros ambientes internos apresentaram menor quantidade de horas acima de 27°C no mês de dezembro do que o ambiente externo. E todos os ambientes internos apresentaram grau médio menor que 0.8 K (incluindo a cozinha), a exceção foi o sótão com um grau médio de 1.7 K, enquanto externamente o grau médio foi de 2.0 K.

No mês de dezembro na base de 25°C, a cozinha apresentou todas as horas do mês temperaturas acima desta base, e seu grau médio foi de 2.0 K. E o que se pode concluir é que no mês de dezembro, a cozinha apresentou a maior parte de suas temperaturas na faixa de 25°C a 27.8°C (base de 27°C mais 0.8 K de grau médio).

Da base de 29°C a 25°C o grau médio externo foi superior ao dos ambientes internos, exceptuando-se o sótão, que apresentou grau médio próximo ou pouco superior ao externo. Nas bases de 23°C e 21°C o grau médio externo só foi menor do que o grau médio de alguns ambientes internos, nos meses onde a temperatura média mensal foi superior a 21°C.

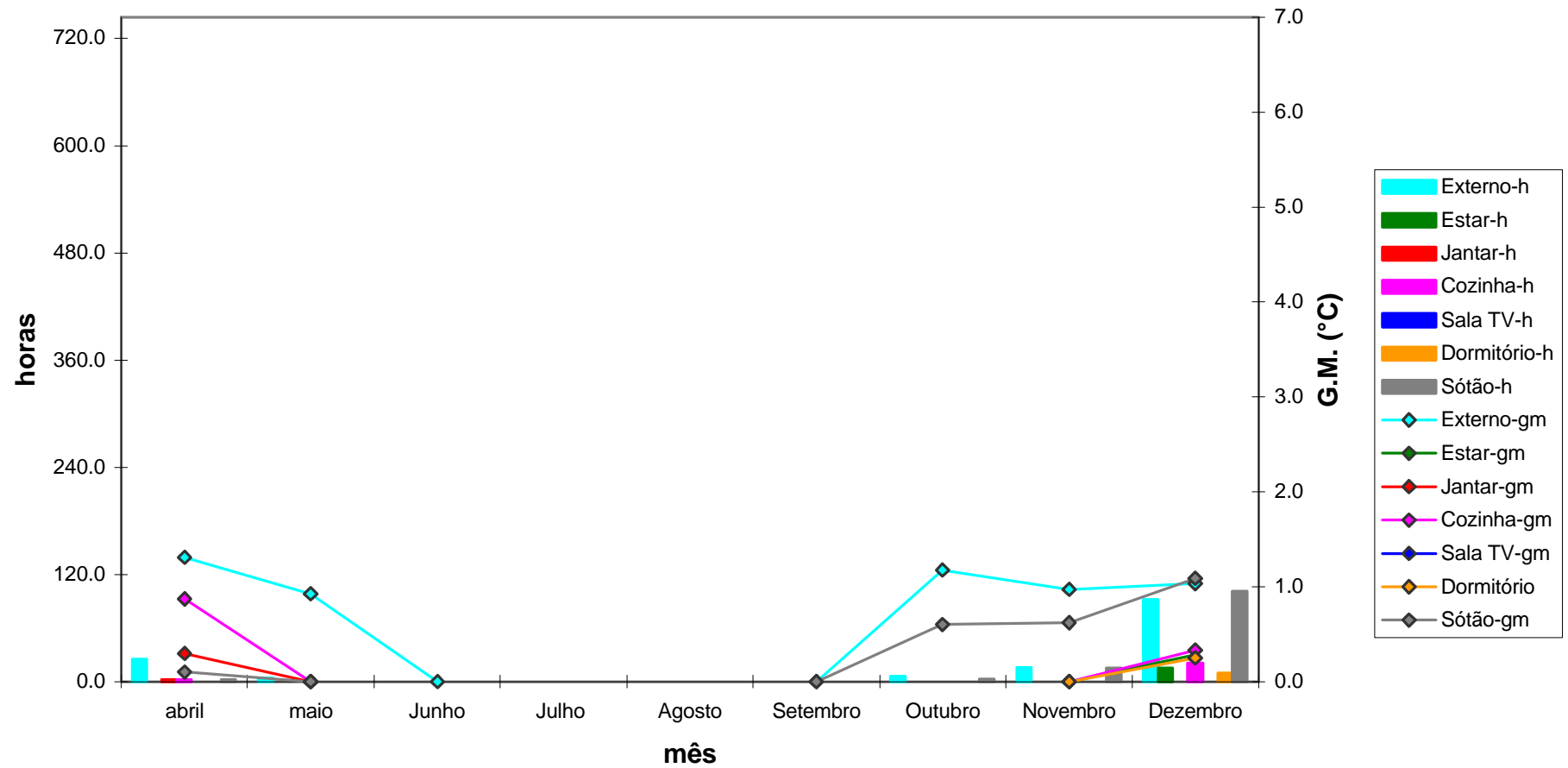


Figura 4.21 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 29°C - Residência 1.

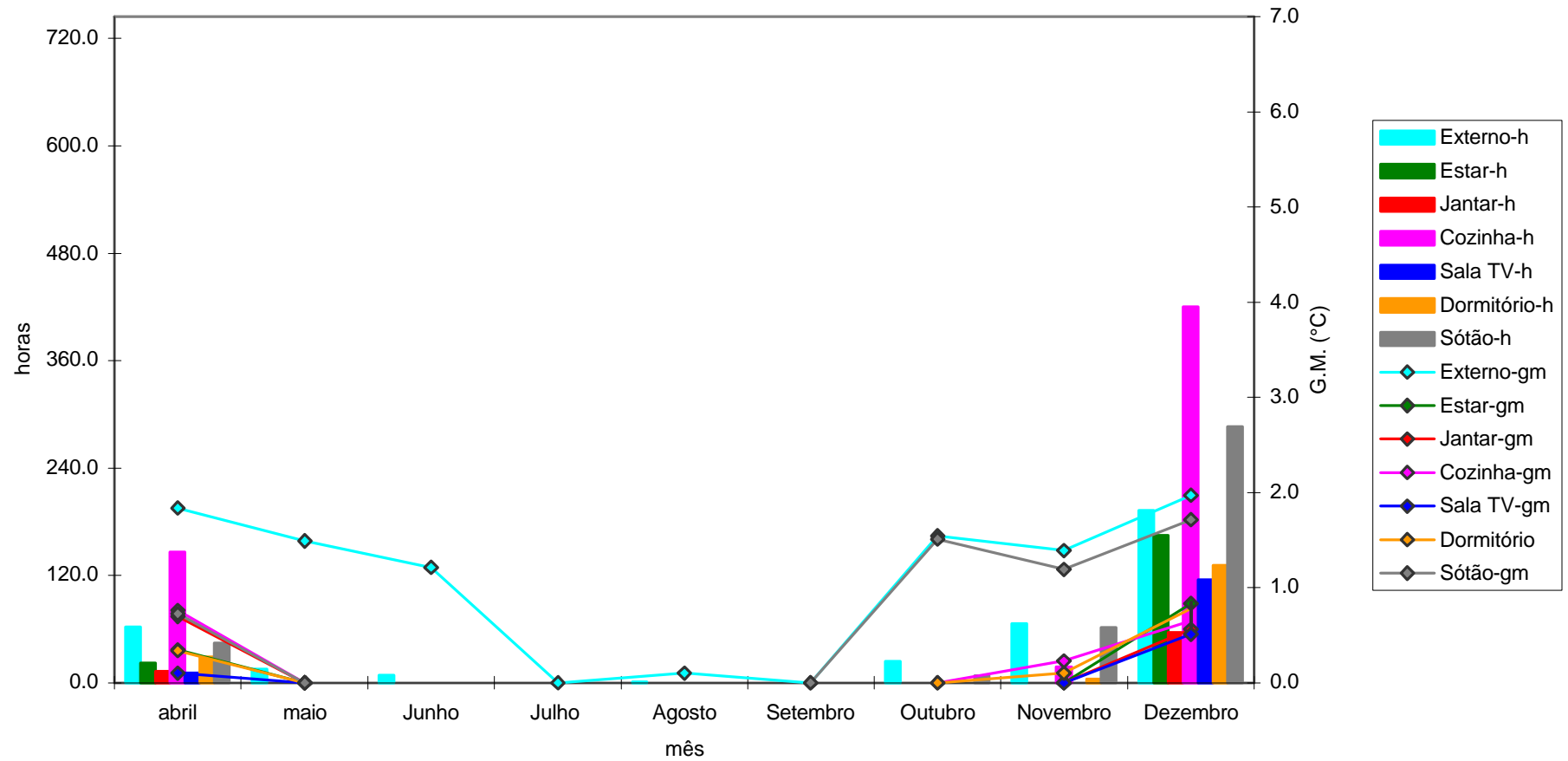


Figura 4.22 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 27°C - Residência 1.

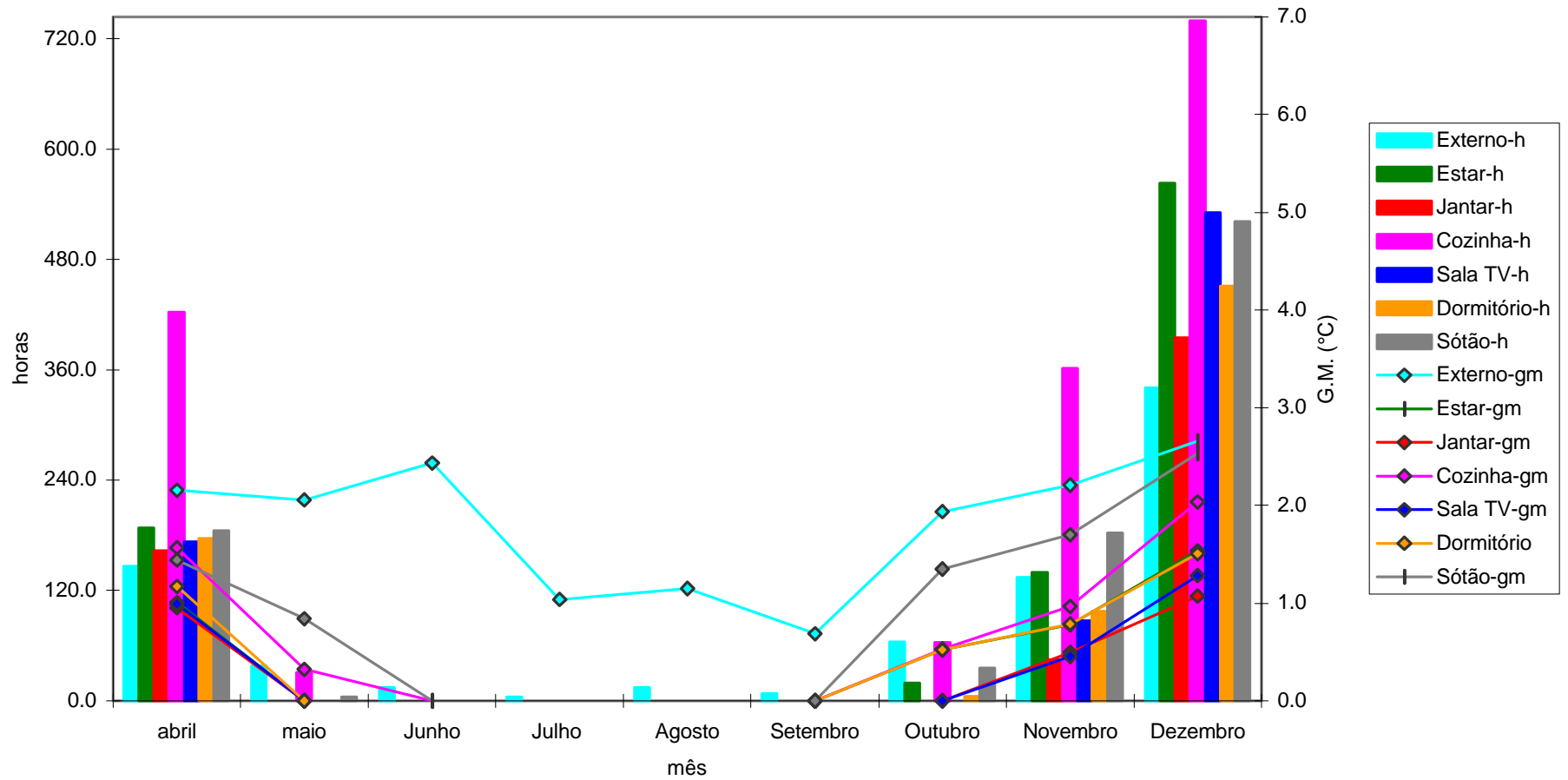


Figura 4.23 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 25°C - Residência 1.

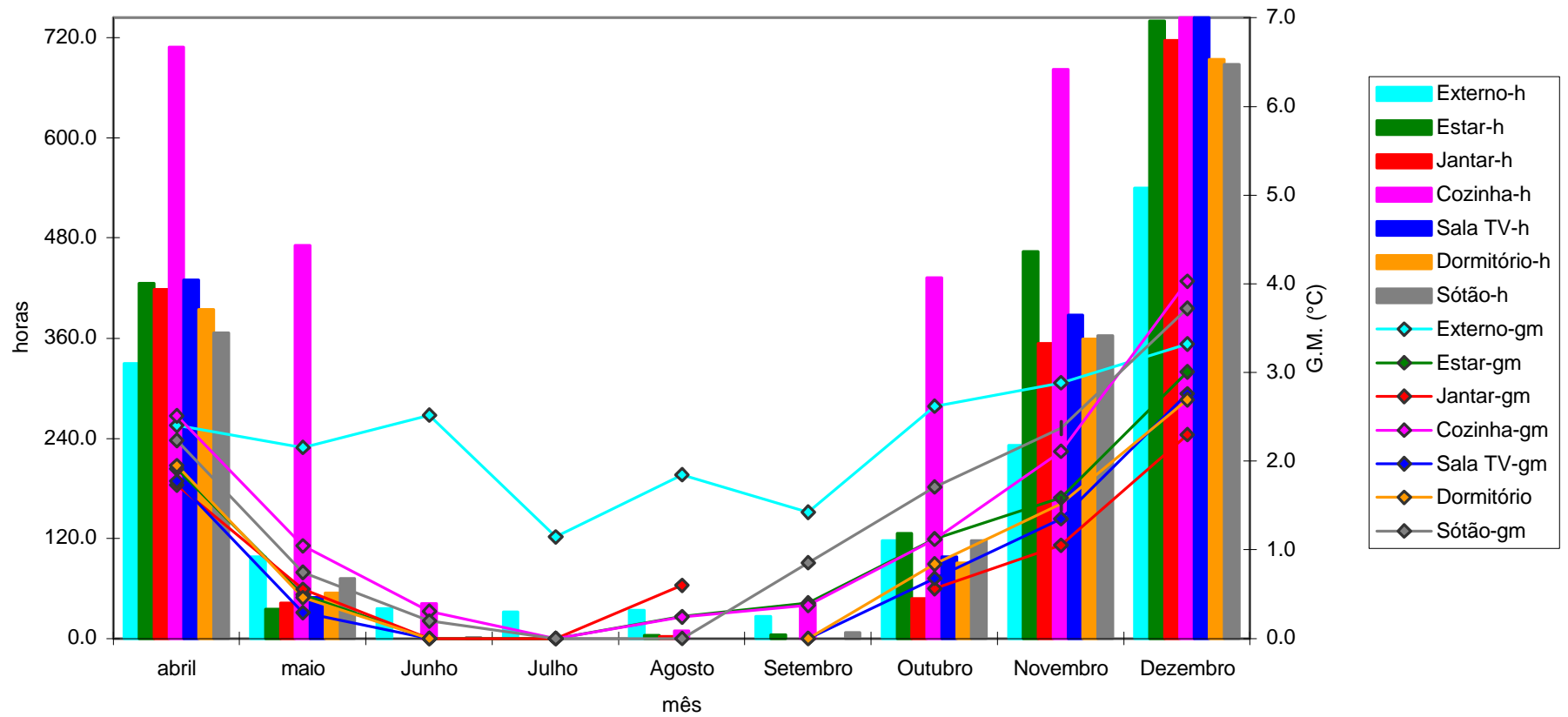


Figura 4.24 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 23°C - Residência 1.

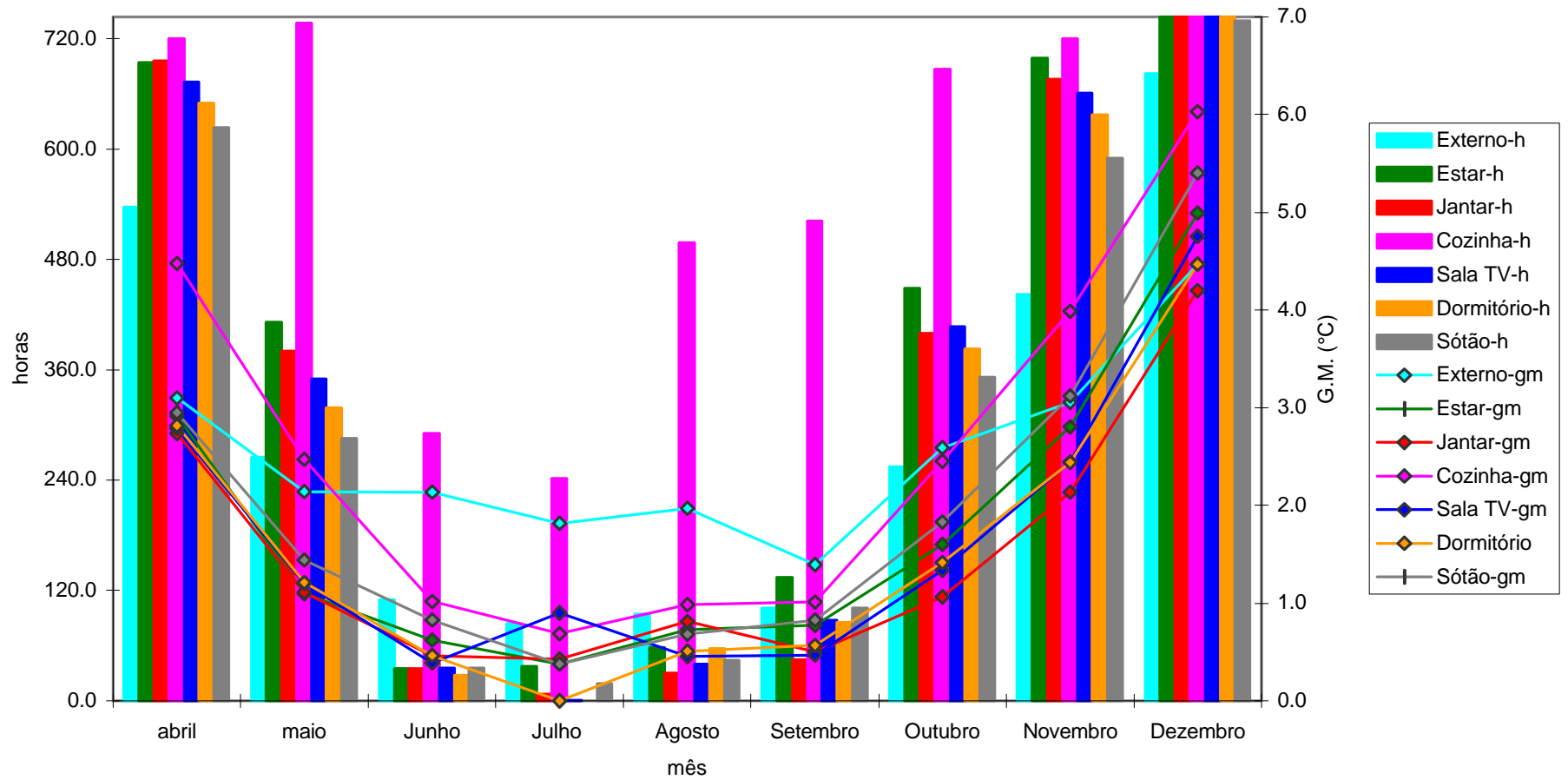


Figura 4.25 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 21°C - Residência 1.

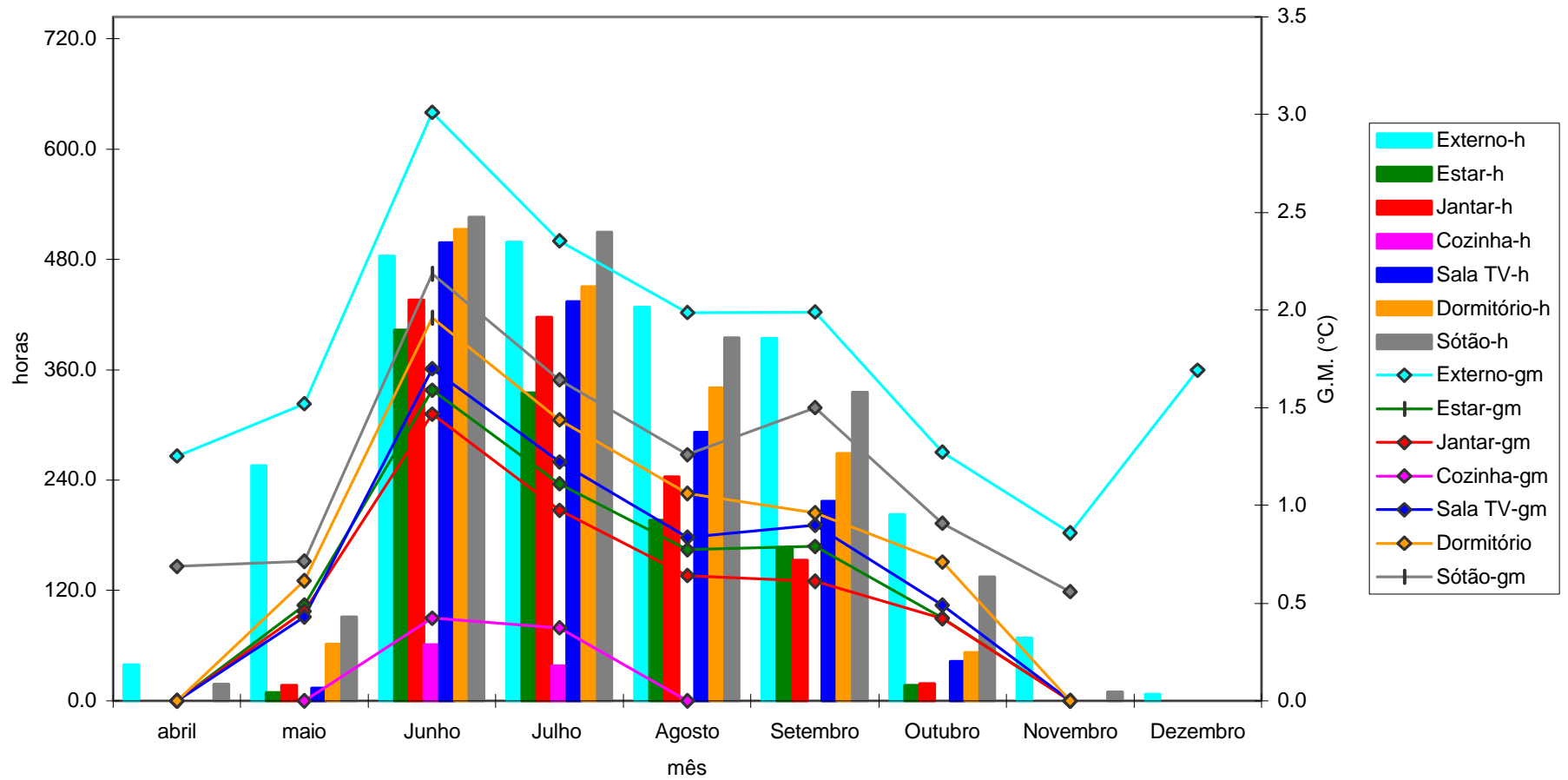


Figura 4.26 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C - Residência 1.

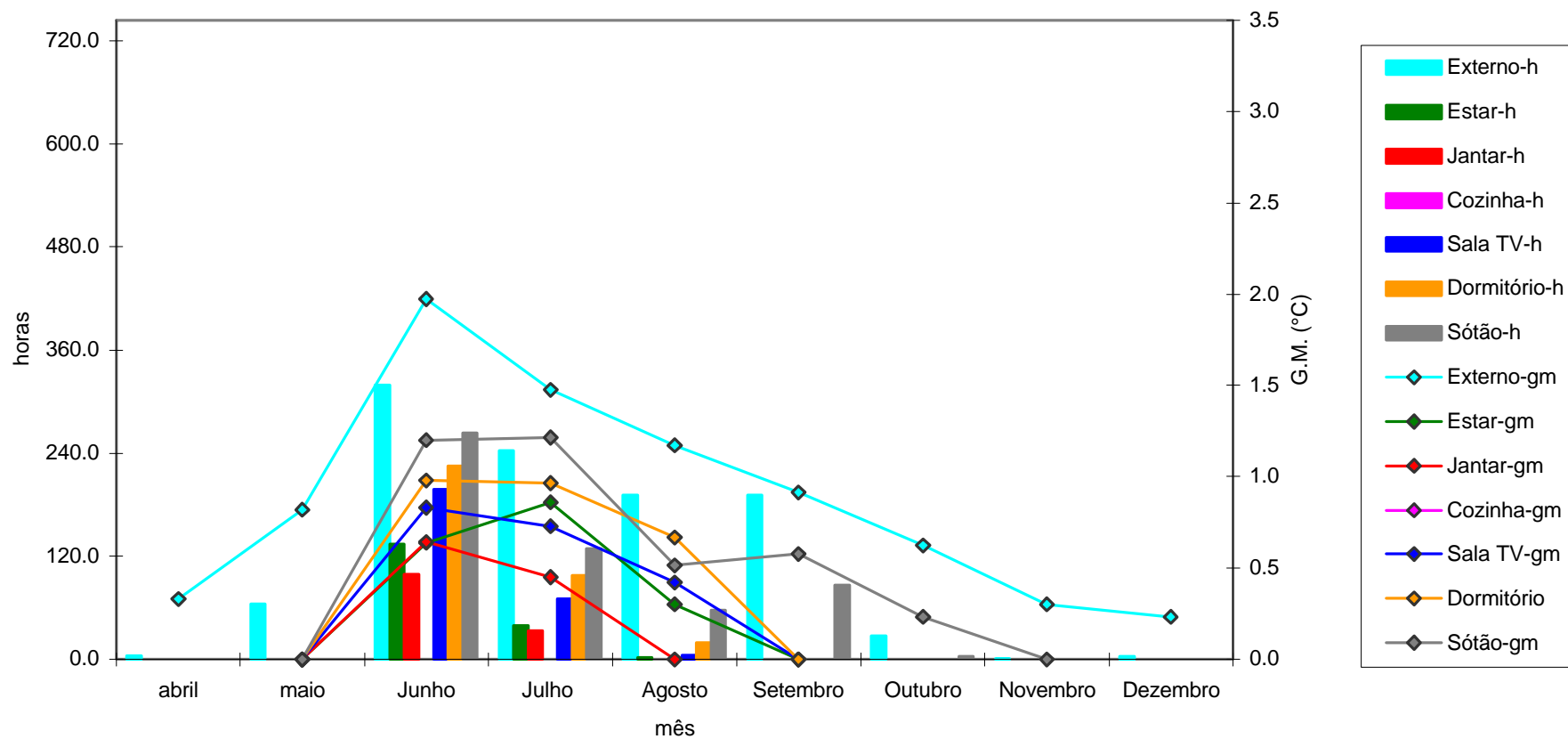


Figura 4.27 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 17°C - Residência 1.

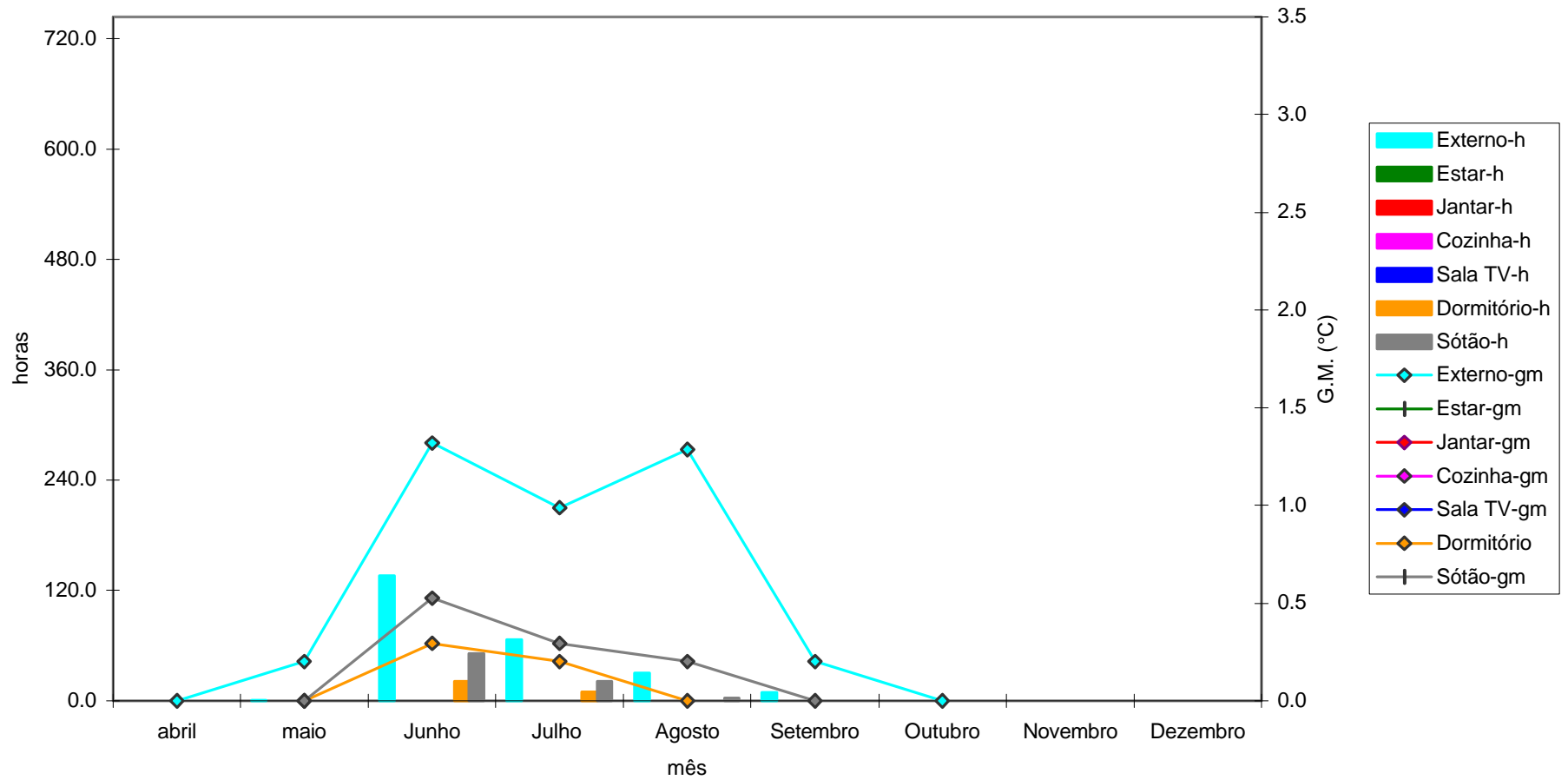


Figura 4.28 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 15°C - Residência 1.

Na base de 25°C, nos meses de abril e dezembro, todos os ambientes internos superaram o externo no número de horas com temperaturas externa acima da base analisada. Na base de 23°C isto ocorre também com o mês de novembro, e na base de 21°C adiciona-se os meses de maio e outubro. Nos meses mais frios, junho a setembro, só a cozinha e o estar apresentaram horas que superam as horas com temperaturas externa acima da base de 21°C.

No mês de dezembro, o estar e a sala de TV apresentaram todas suas horas do mês com temperatura acima da base de 23°C. No mês de dezembro, todos os ambientes internos apresentaram temperaturas acima da base de 21°C. Sendo que externamente aparecem temperaturas abaixo de 19°C.

Percebe-se que, no mês de dezembro quase todos os ambientes apresentaram quase todas as horas do mês temperaturas acima da base de 23°C, e a temperatura média mensal foi de 25°C. No mês de abril e novembro a base foi a de 21°C, e a temperatura média mensal foi respectivamente de 23°C e de 22.3°C. Pode-se então dizer que na análise de temperaturas acima de 21°C na residência 1, a maior incidência interna de horas com temperatura acima de uma determinada base, normalmente ocorre na base que esteja aproximadamente a 2 K abaixo da temperatura média mensal.

Uma outra característica relacionada à temperatura média mensal é que, o valor da temperatura média mensal ou um pouco acima da mesma, é a temperatura base na qual começam a aparecer mais horas internamente acima da base do que externamente.

Pelas figuras 4.17 a 4.21 percebe-se que nesta residência há um aumento gradativo que acompanha o aumento da temperatura externa mensal, tanto na quantidade de horas que excedem a temperatura base, quanto no grau médio dos ambientes internos.

As figuras 4.22 a 4.24 apresentam os resultados das temperaturas abaixo das bases de 19°C a 15°C.

Na base de 19°C no mês de junho, cuja temperatura média mensal foi de 17.8°C, apareceram mais horas abaixo desta base nos ambientes de Sala de TV, Estar, e Sótão do que externamente. Mas o grau médio destes ambientes foi menor do que o grau médio externo. No mês de junho e julho, todos os ambientes internos apresentaram horas abaixo da base de 19°C. A cozinha é o ambiente interno que apresenta a menor quantidade de horas na análise de temperaturas abaixo da base 19°C.

Na análise de temperaturas nas bases abaixo de 19°C, o grau médio externo é sempre maior do que o interno. Os ambientes que apresentaram o pior desempenho térmico no período frio foram o Sótão, o Dormitório e a Sala de TV. Pois além de apresentarem o maior número de horas com temperatura abaixo das bases analisadas, apresentam grau médio superior aos outros ambientes internos.

4.2.1.6 Carta Bioclimática

Os dados do clima externo fornecidos pelo LabSolar - UFSC, plotados sobre a carta Bioclimática de Givoni, mostram a porcentagem de horas de conforto, a porcentagem de horas de desconforto por frio e por calor, e as principais estratégias para alcançar o conforto.

Visto que as medições internas na edificação eram apenas de temperatura e não contemplavam a umidade relativa, os dados de entrada de temperatura dos ambientes internos foram relacionados com os dados de umidade relativa medidos pelo Labsolar – UFSC. Vale salientar que pela carta bioclimática de Givoni, qualquer hora com umidade relativa acima de 80% é considerado em desconforto.

A tabela 4.1 mostra o resultado do relatório de saída do software Analysis, tanto do clima externo, como dos ambientes internos.

Tabela 4.1 Resultado do relatório do Analysis por ambiente Residência 1

	conforto (%)	desconforto (%)		calor (%)				frio (%)				sombreamento (%)
		frio	calor	ventilação	massa p/ resfriamento	resfriamento evaporativo	ar condicionad	massa térmica /aquec.solar	aquec. Solar passivo	aquecimento artificial	umidificação	
Externo	27.9	45.4	26.8	24.1	1.24	1.17	2.65	40.5	4.41	0.5	0	47.1
Estar	35.0	24.7	40.4									
Jantar	35.4	27.7	36.9									
Cozinha	36.6	2.49	60.9									
Sala TV	33.0	28.6	38.5									
Dormit.	31.6	31.1	37.3									
Sótão	28.6	35.5	35.9									
Média	28.7	25.0	41.6									
D.Padrão	12.6	11.6	9.6									

O conforto externo durante os nove meses de medição esteve em 27.9%. Os ambientes internos apresentaram aumento proporcional nas horas de conforto em relação ao ambiente externo. O desconforto por frio externo foi minimizado em todos os ambientes internos, enquanto o desconforto por calor nos ambientes internos foi maior do que o desconforto por calor externo. A cozinha por ter a tubulação de água quente passando pelas paredes sem isolamento, pequenas aberturas, ganho de calor por equipamentos, quase não apresentou desconforto por frio, e apresentou o maior índice de desconforto por calor.

4.2.2 Residência 2

4.2.2.1 Distribuição de TBS

As figuras 4.25, 4.26, e 4.27 mostram a distribuição de temperatura dos ambientes internos e temperatura externa medidos na residência 2, e temperatura de bulbo seco e radiação medidos no Labsolar, nos três períodos pré estabelecidos.

As temperaturas de Bulbo Seco externas medidas na edificação e as medidas no Labsolar mostraram diferenças. Estas diferenças são mais perceptíveis nos picos de temperatura.

De maneira geral, todos os ambientes monitorados conseguem amortecer tanto os picos de calor quanto os de frio. Numa seqüência de dias quentes as temperaturas internas seguem a distribuição de temperaturas externas, mas amortecendo as amplitudes externas. Por outro lado, em períodos amenos e frios, a variação interna é menos influenciada pela distribuição de temperatura externa.

A entrada de uma frente fria numa seqüência de dias quentes, ocasiona uma queda na temperatura interna pouco perceptível no primeiro dia. E numa seqüência de dois ou mais dias frios, as temperaturas internas vão diminuindo mas sempre mantendo-se acima da média, e às vezes acima da máxima diária de um dia muito frio.

No período frio, quando há pouca amplitude térmica, a temperatura interna consegue-se manter acima da temperatura externa. E nos dias em que ocorre uma grande amplitude, com temperaturas externas máximas por volta de 20°C, a temperatura interna mantêm-se acima da média externa. Um aumento na temperatura externa ocasiona um aumento gradativo nos ambientes internos.

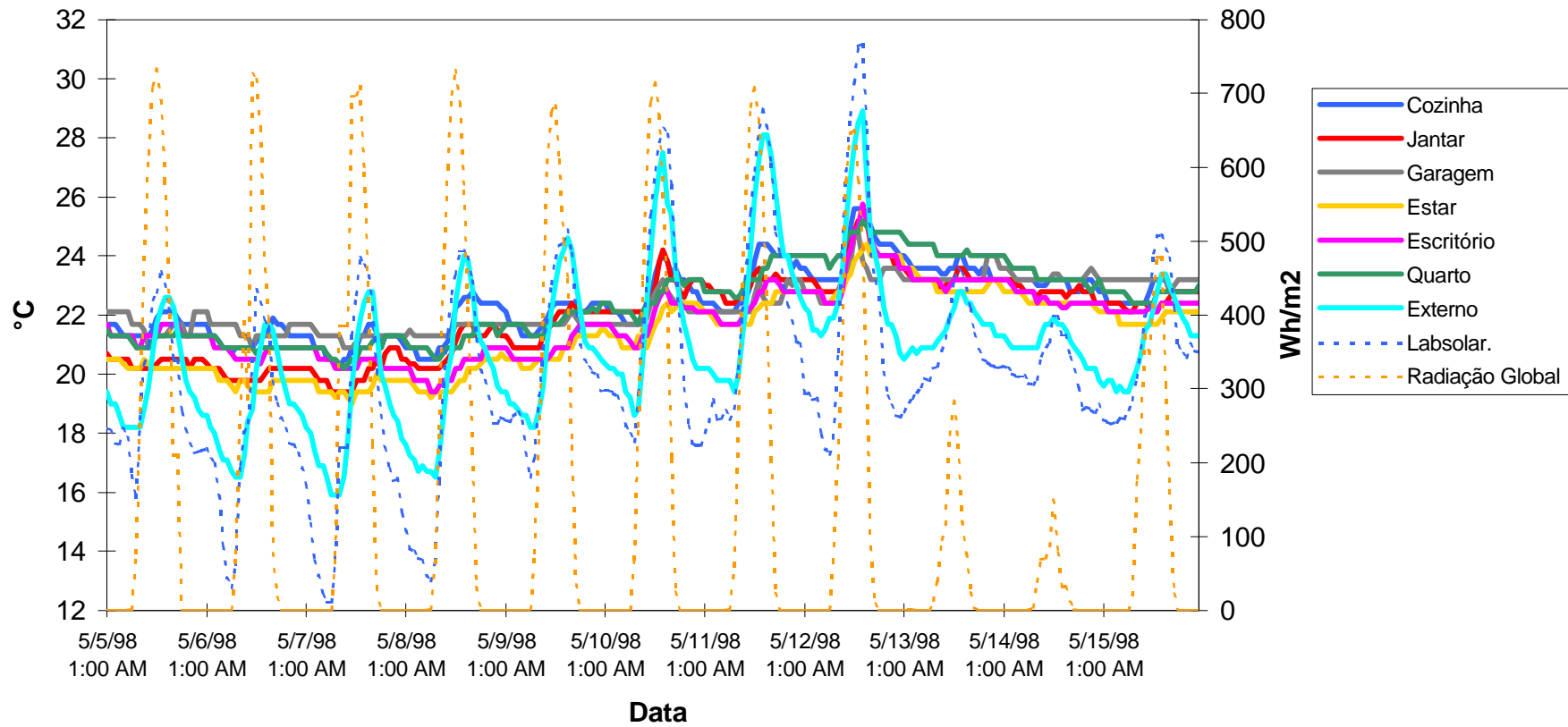


Figura 4.29 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 2 – período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

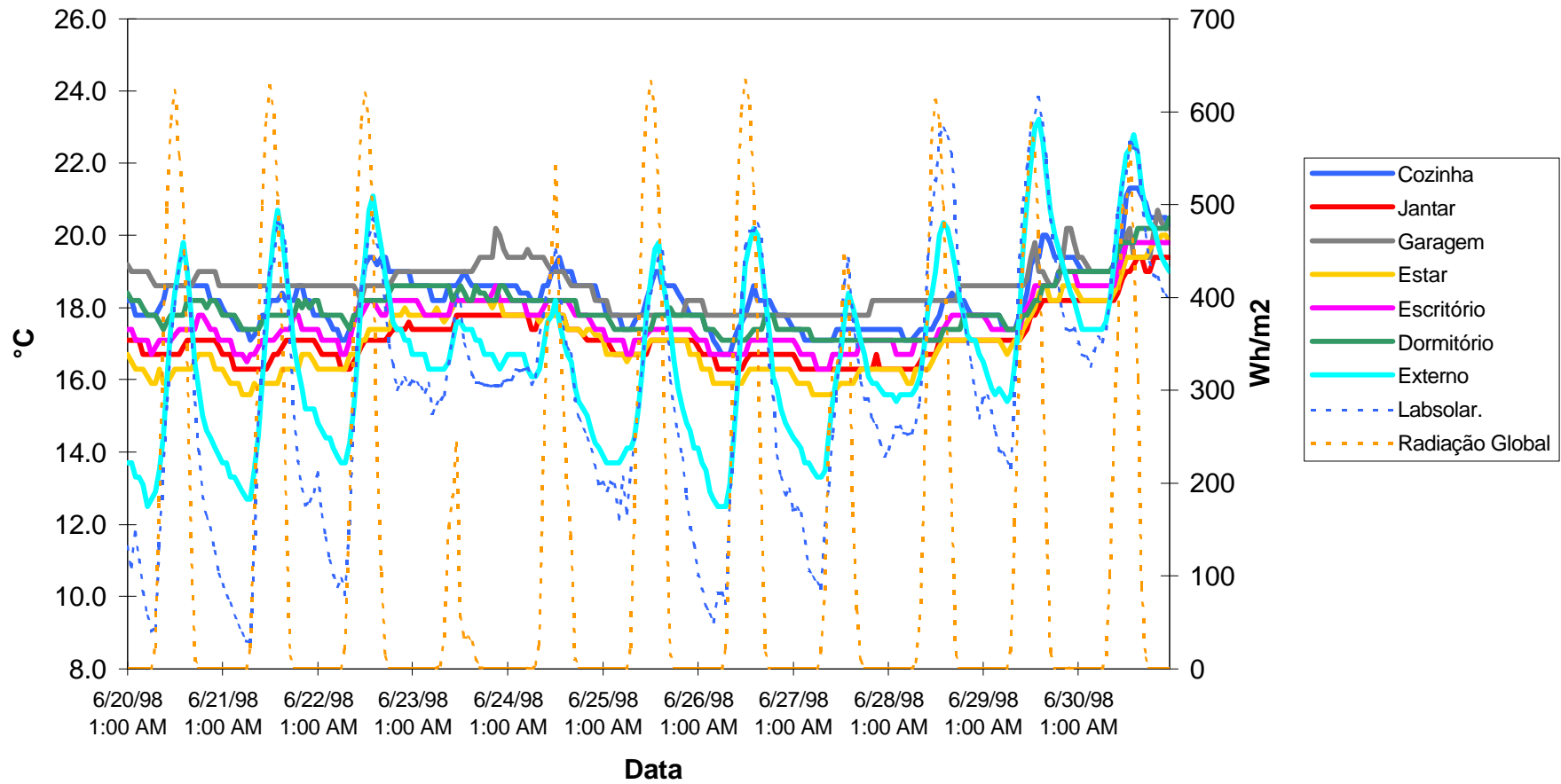


Figura 4.30 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 2 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

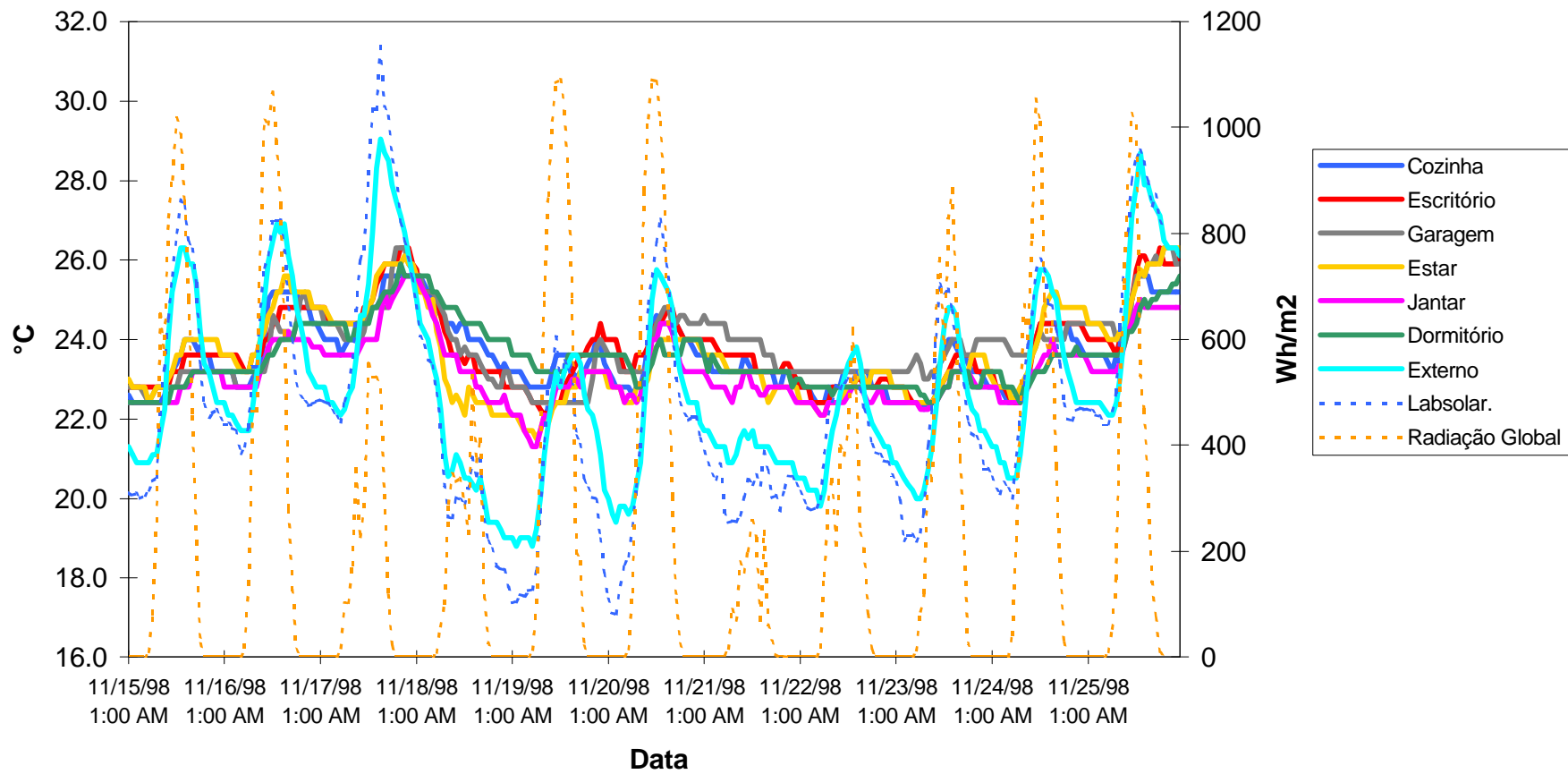


Figura 4.31 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 2 – período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

No período ameno esta edificação demonstra seu melhor desempenho térmico, pois apresenta estabilidade térmica nas temperaturas internas, frente a variação na temperatura externa, amortecendo os picos de temperatura mínimos e máximos. Nos dias onde a amplitude e a máxima diária são pequenas as temperaturas internas mantêm-se acima da temperatura máxima diária externa.

Dentro do período quente nos dias onde há um aumento de temperatura gradativo, a variação interna tende a ser mais acentuada do que onde há queda de temperatura externa, onde a variação é menor. Os picos máximos de temperatura externa no período quente são amortecidos. Mas as temperaturas internas seguem a tendência da temperatura externa, e nos dias mais quentes a temperatura interna aproxima-se da temperatura média externa. Nos dias mais frios deste período as temperaturas internas ficam acima da temperatura média externa. Numa sequência de dois dias quentes, onde temperatura e radiação tem valores aproximados, o ganho de calor vai sendo armazenado pelo envelope no primeiro dia, e o calor interno tende a ser maior no segundo dia.

Todos os ambientes internos desta edificação mostraram-se bastante próximo em seu desempenho térmico durante todo o período da monitoração. Alguns ambientes apresentaram algumas particularidades a seguir descritas.

A garagem é o ambiente interno que apresenta uma distribuição atípica. Permanece considerável parte do período da monitoração com temperaturas acima dos outros ambientes internos, e apresenta picos de temperatura em períodos noturnos e matutinos, quando provavelmente quando há ganho de calor advindo do motor do carro.

O ambiente do Estar apresenta-se com temperaturas abaixo dos outros ambientes internos nos períodos frio e ameno, apesar de estar interligado com o Jantar e o Escritório. Já no período quente, apresenta-se com temperatura interna acima dos outros ambientes, exceto quando ocorre quedas bruscas de temperatura.

A Cozinha apresenta uns picos de temperatura que coincidem com sua ocupação diária.

4.2.2.2 Distribuição de Amplitudes

As figuras 4.28, 4.29, e 4.30 demonstram a distribuição de amplitudes dos ambientes internos e temperatura externa medidos na residência 2, nos três períodos pré estabelecidos.

Percebe-se pelas figuras que as amplitudes externas ficam em torno de 8 K e as amplitudes internas por volta de 3 K. Algumas exceções são perceptíveis devido ao fato do uso diferenciado da edificação num determinado dia, ou a entrada de uma frente fria, onde a máxima diária ocorre durante a madrugada, fazendo a edificação apresentar amplitudes um pouco maiores do que 3 K.

4.2.2.3 Amortecimento Térmico

As figuras 4.31, 4.32, e 4.33 demonstram o amortecimento térmico dos ambientes internos nos três períodos pré estabelecidos.

Desconsiderando os dias atípicos, onde aparecem valores de amortecimento acima da média, pode-se notar que o amortecimento no período quente fica no máximo em 0.6, enquanto no período ameno e frio o máximo é em torno de 0.3.

O amortecimento superior de todos os ambientes internos, exceto o da garagem, mostrou-se mais efetivo do que o amortecimento inferior. O amortecimento da garagem mostrou-se bastante diversificado durante todo o período da medição.

4.2.2.4 Atraso Térmico

As figuras 4.34, 4.35, e 4.36 demonstram o atraso térmico dos ambientes internos nos três períodos pré estabelecidos.

Numa análise de todo o período da monitoração, aparecem resultados dispersos. A apresentação de resultados a seguir trata-se da análise dos nove meses de medições.

A Garagem é o ambiente interno que apresenta quase todos os dias atraso térmico. Estas horas vão de 1 a 11 horas de atraso térmico, mas sua maior incidência fica em torno de 5 a 8 horas.

A Cozinha apresenta valores de atraso térmico de 1 a 7 horas, com predominância entre 1 e 2 horas de atraso térmico. E em muitos dias não apresenta atraso térmico.

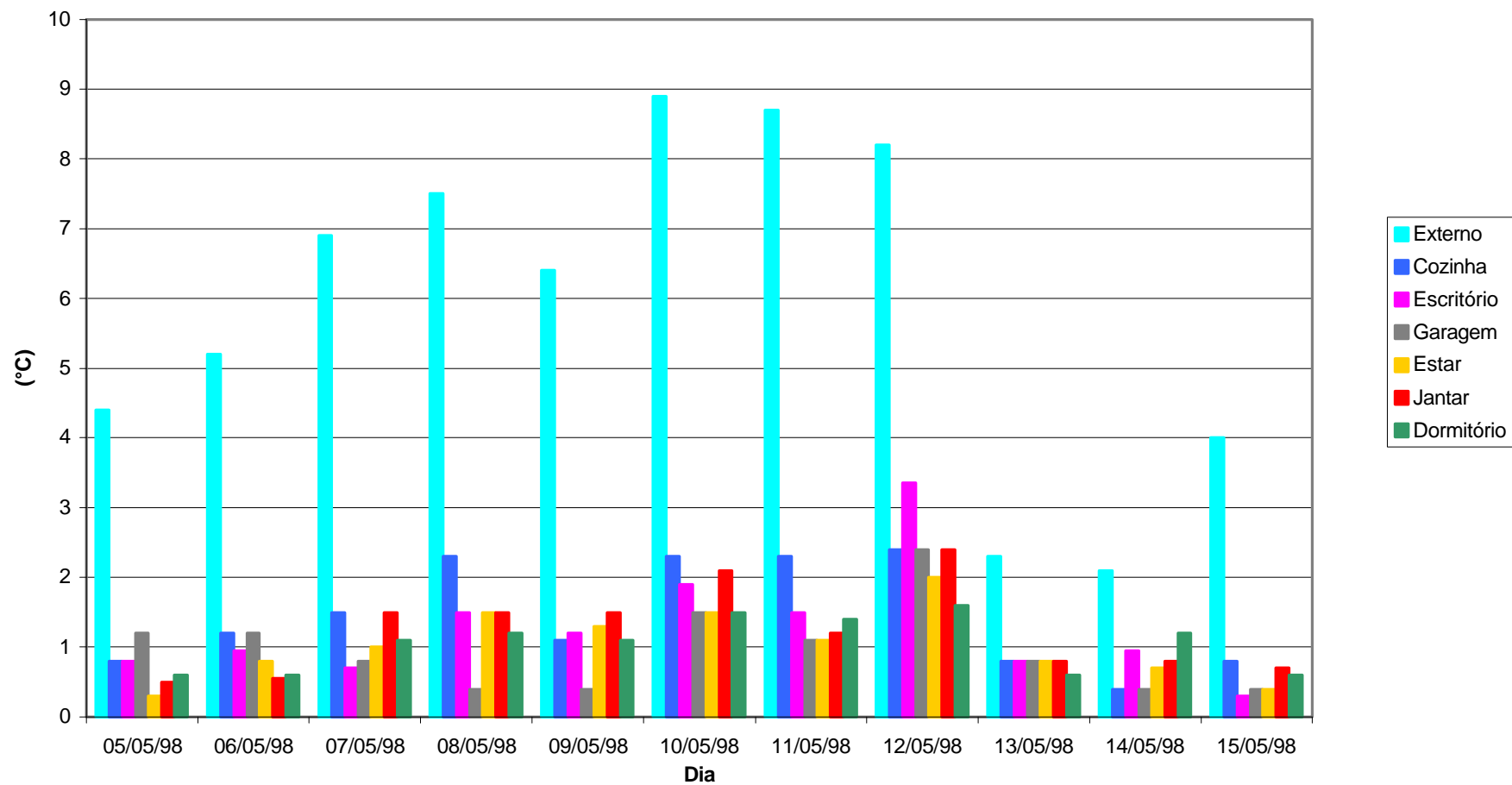


Figura 4.32 Amplitudes Térmicas Residência 2 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

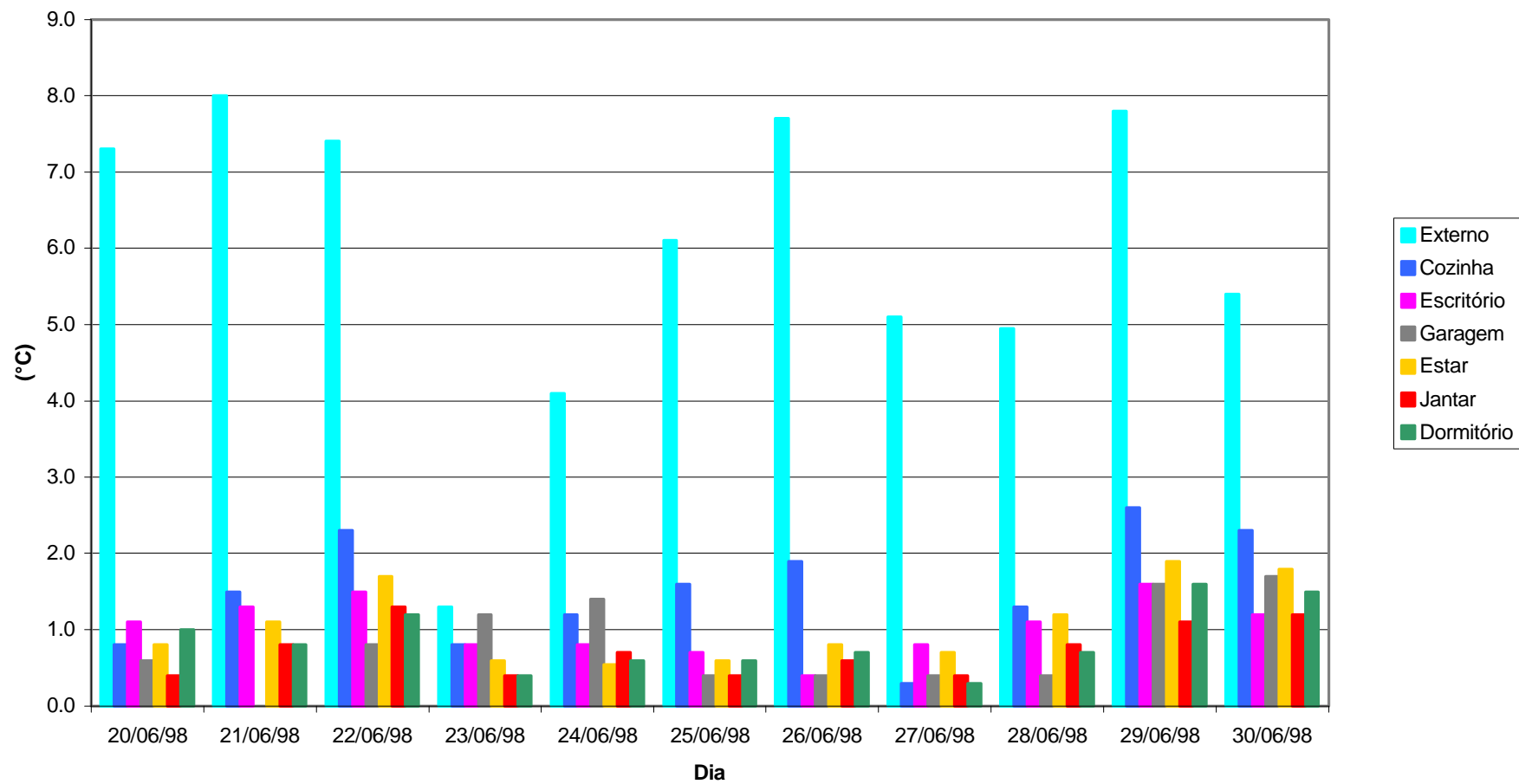


Figura 4.33 Amplitudes Térmicas Residência 2 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

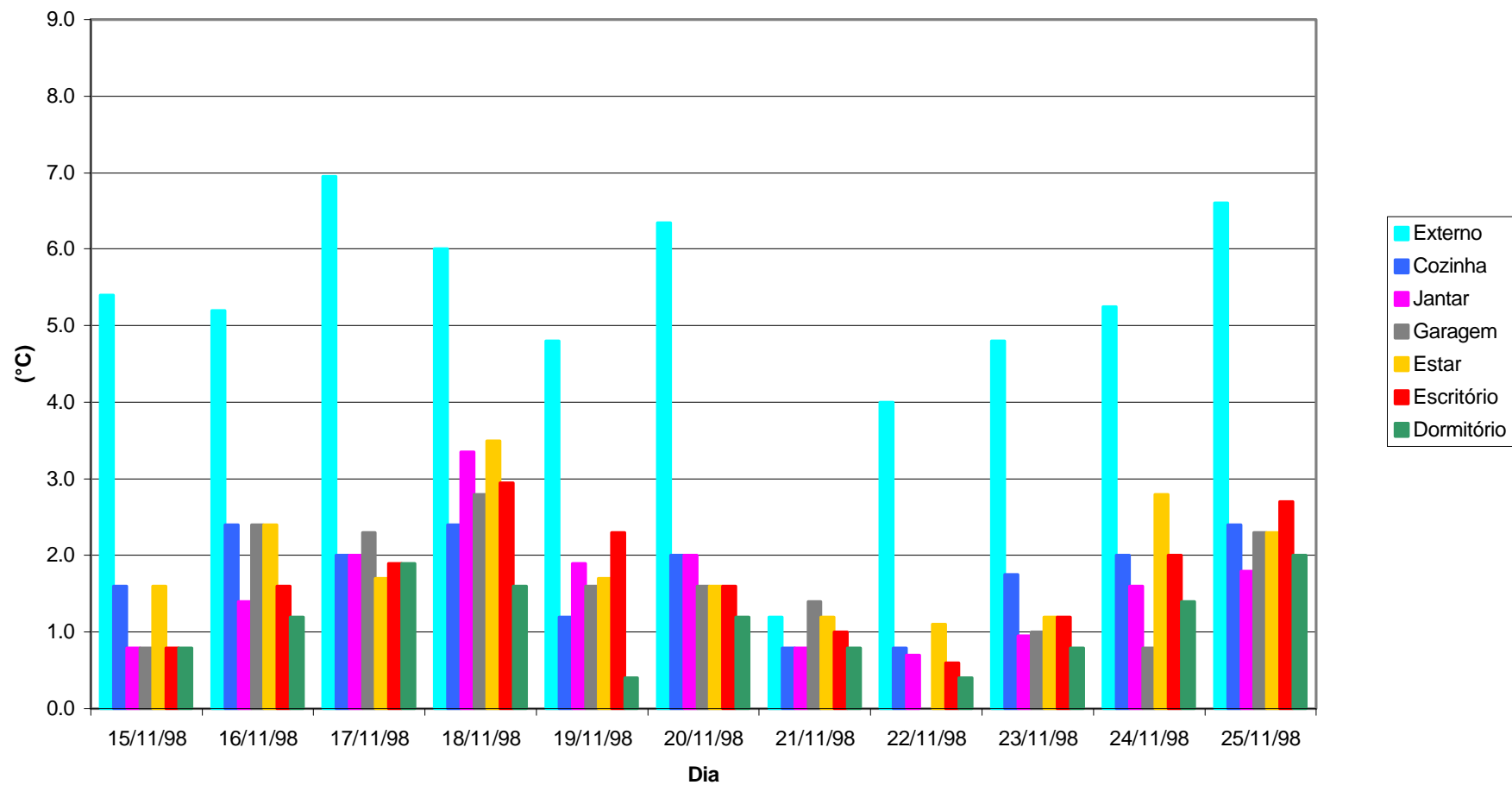


Figura 4.34 Amplitudes Térmicas Residência 2 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

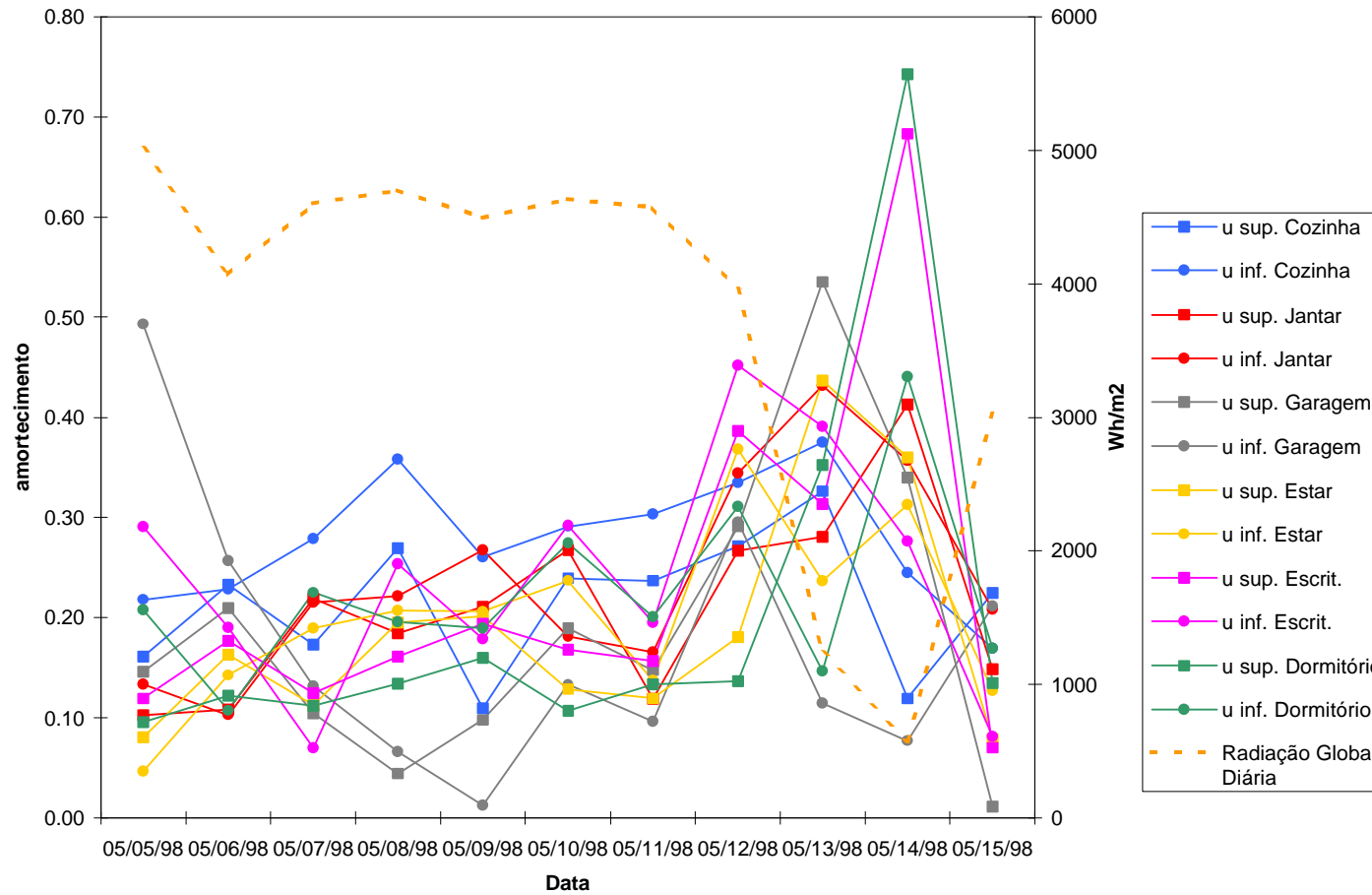


Figura 4.35 Amortecimento Térmico Residência 2 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

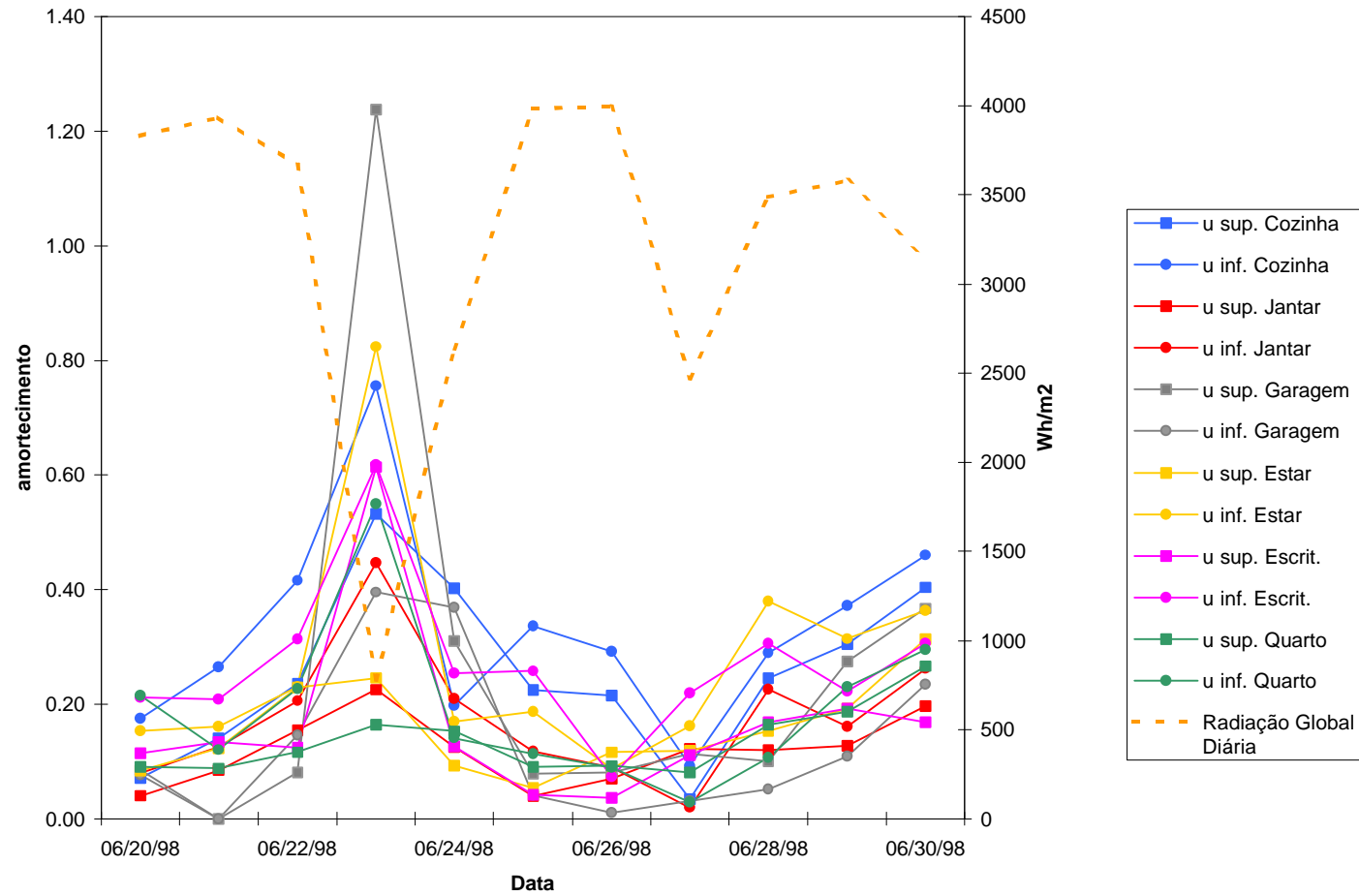


Figura 4.36 Amortecimento Térmico Residência 2 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

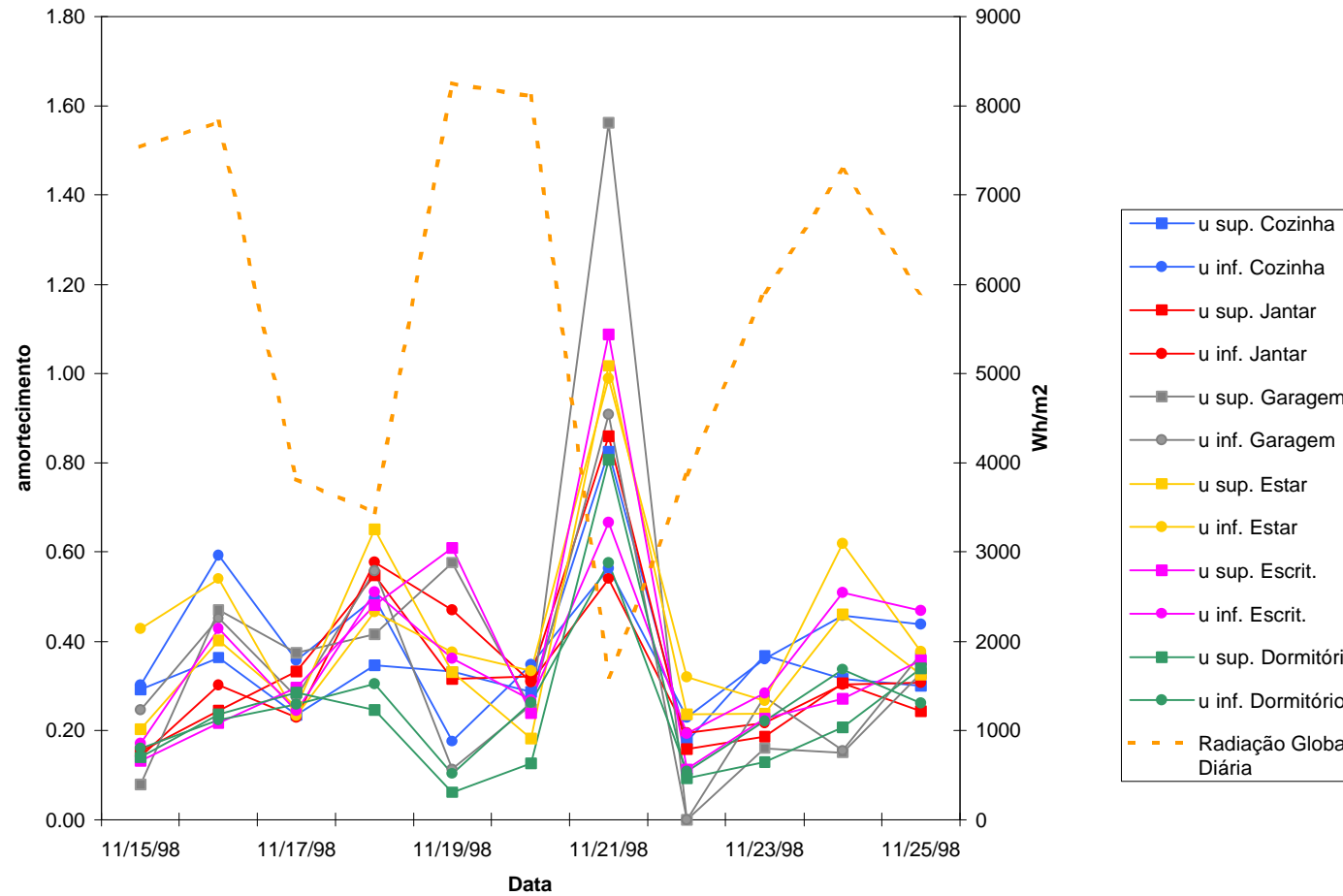


Figura 4.37 Amortecimento Térmico Residência 2 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

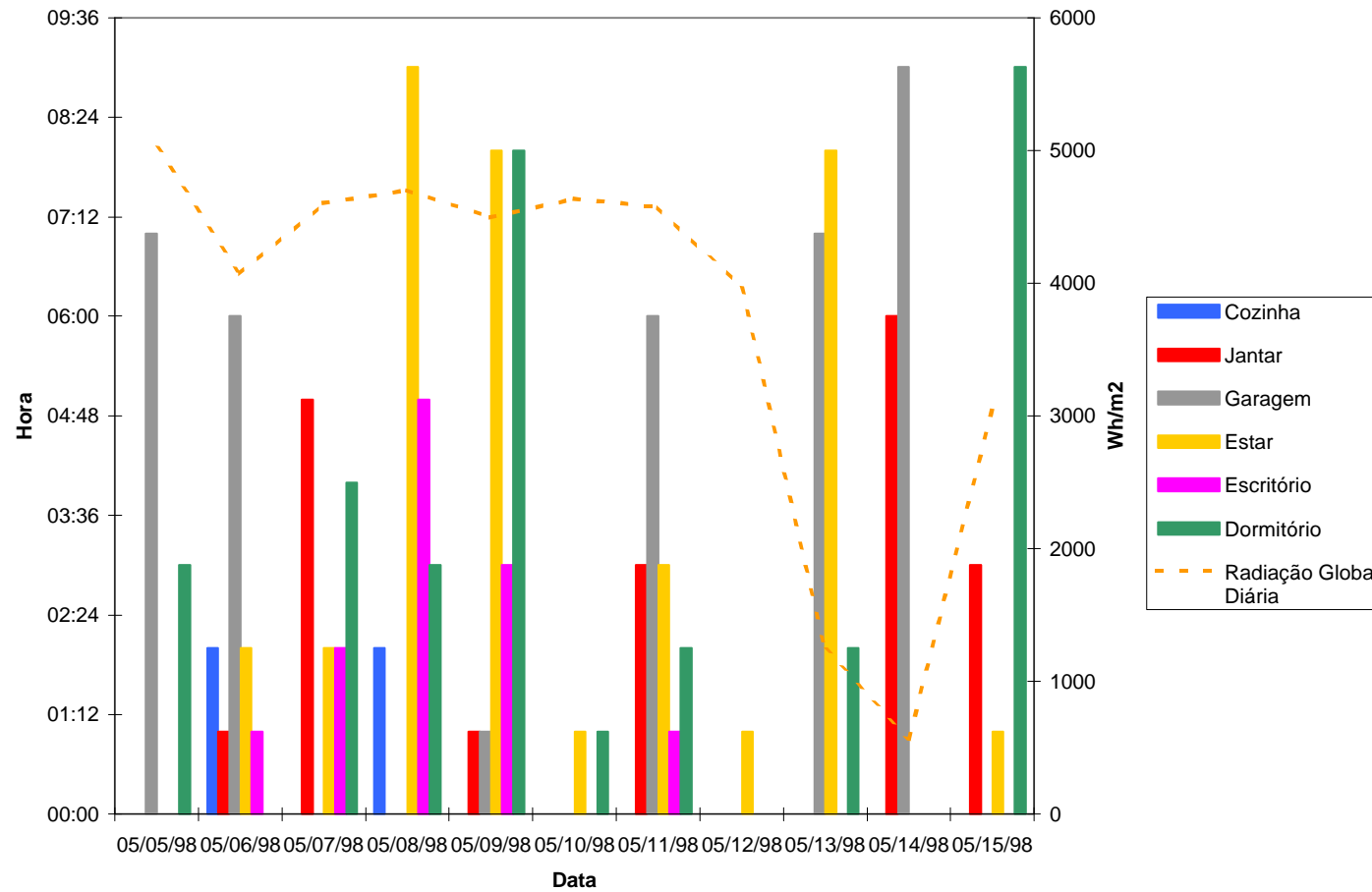


Figura 4.38 Atraso Térmico Residência 2 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

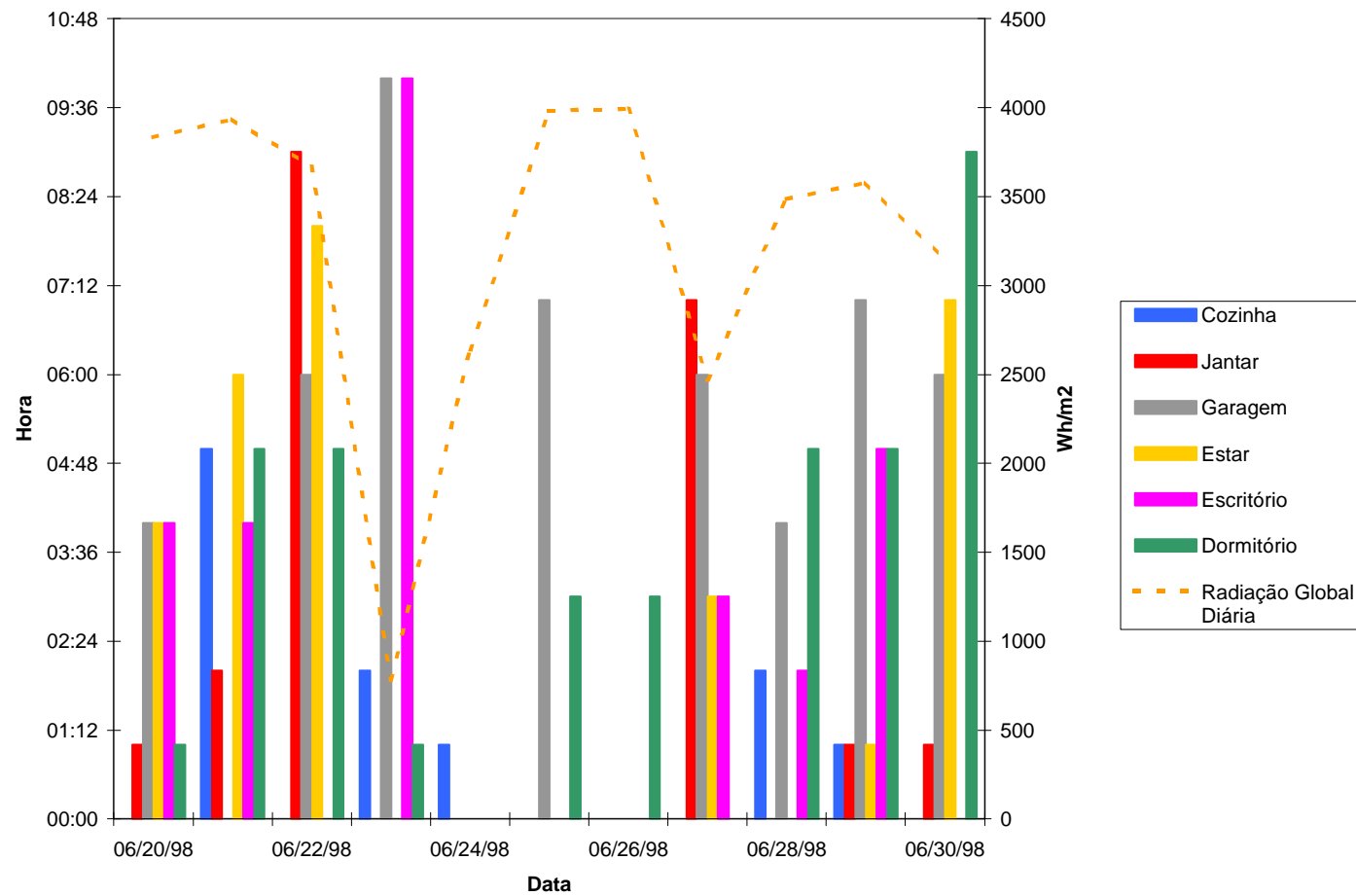


Figura 4.39 Atraso Térmico Residência 2 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

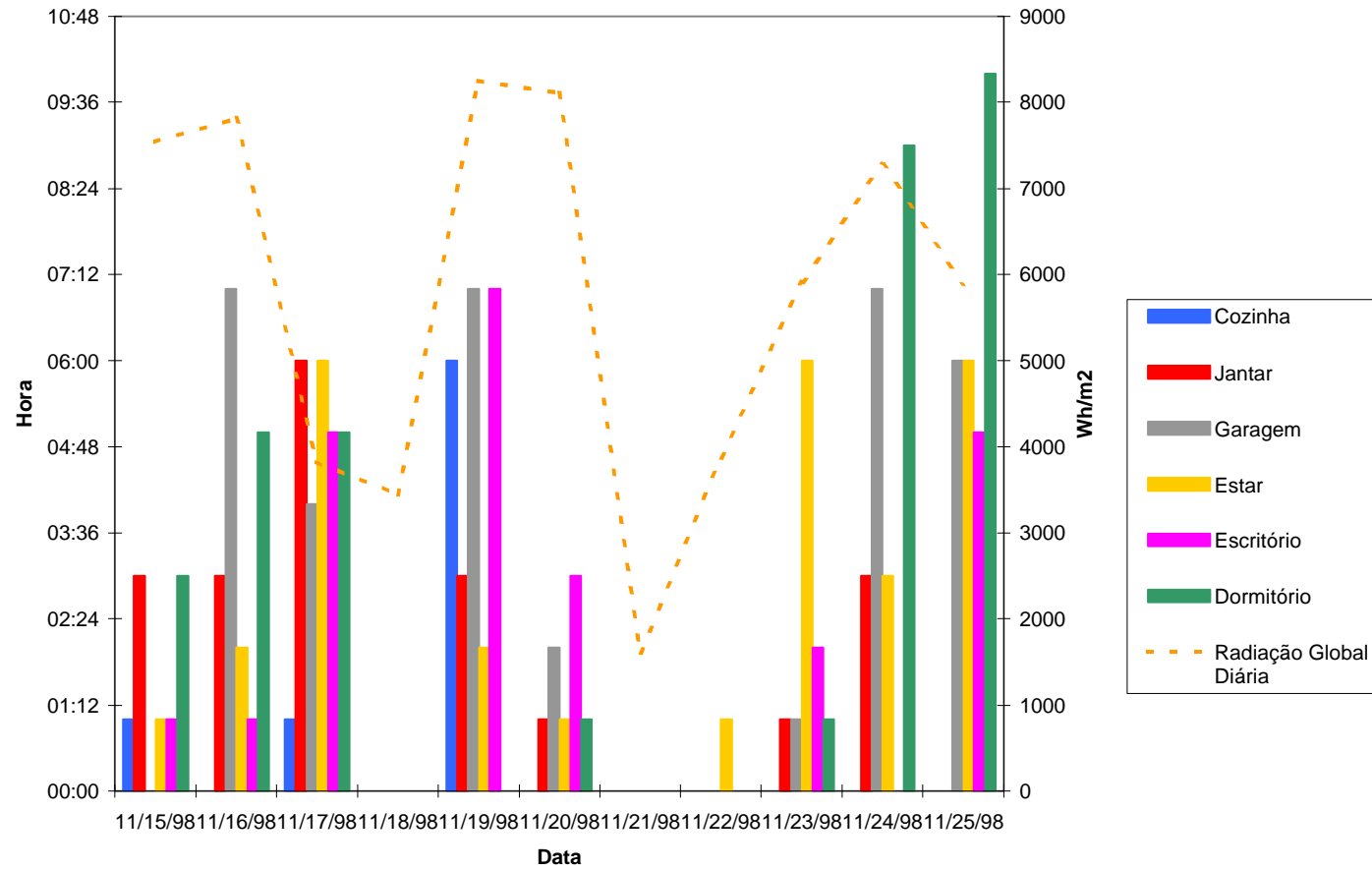


Figura 4.40 Atraso Térmico Residência 2 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

O Jantar e o Estar apresentam atraso térmico de 1 a 9 horas, o que depende muito de sua ocupação, pois não apresentou nenhuma relação com o dia da semana, temperatura ou radiação. O Estar apresenta uma maior frequência de ocorrência de atrasos térmicos do que o Jantar.

Apesar de serem integrados, o Estar e o Escritório apresentam diferenças quanto à frequência de ocorrência e valores de atraso térmico. O Escritório tem seus valores de atraso térmico variando de 1 a 10 horas.

No Dormitório o atraso térmico varia de 1 a 9 horas, sem nenhuma relação com radiação ou temperatura. O atraso térmico deve estar relacionado apenas com a sua ocupação.

4.2.2.5 Somatório de Graus Hora

As figuras 4.37 a 4.42 mostram, nos nove meses de medição, o grau médio e a quantidade de horas acima ou abaixo de cada uma das bases de temperatura analisadas. As tabelas com os valores da análise de graus hora para as diferentes bases encontram-se no na Home Page do LabEEE (<http://www.labeee.ufsc.br/sobre/so-tdd.html>).

As figuras 4.37 a 4.40 referem-se à análise de temperaturas acima das bases de 27°C a 21°C. Esta edificação não apresentou em nenhum dos nove meses da análise temperaturas internas acima da base de 29°C.

Nesta edificação o grau médio externo só foi superado pelo grau médio dos ambientes internos na base de 21°C nos meses de abril e dezembro.

A base na qual a quantidade de horas que as temperaturas internas superam a quantidade de horas externa, normalmente ocorrem a 1 K acima da temperatura média mensal externa medida na edificação.

Esta edificação consegue amortecer os picos de calor da temperatura externa. Pois uma grande quantidade de horas acima de uma determinada base só aparecem a 23°C, com um grau médio interno inferior a 2.5°C.

As figuras 4.41 e 4.42 referem-se à análise de temperaturas abaixo das bases de 19°C e 17°C. Esta edificação não apresentou temperaturas internas abaixo de 15°C.

Esta edificação também amorteceu bem as temperaturas mínimas externas. O grau médio externo foi sempre superior ao grau médio interno.

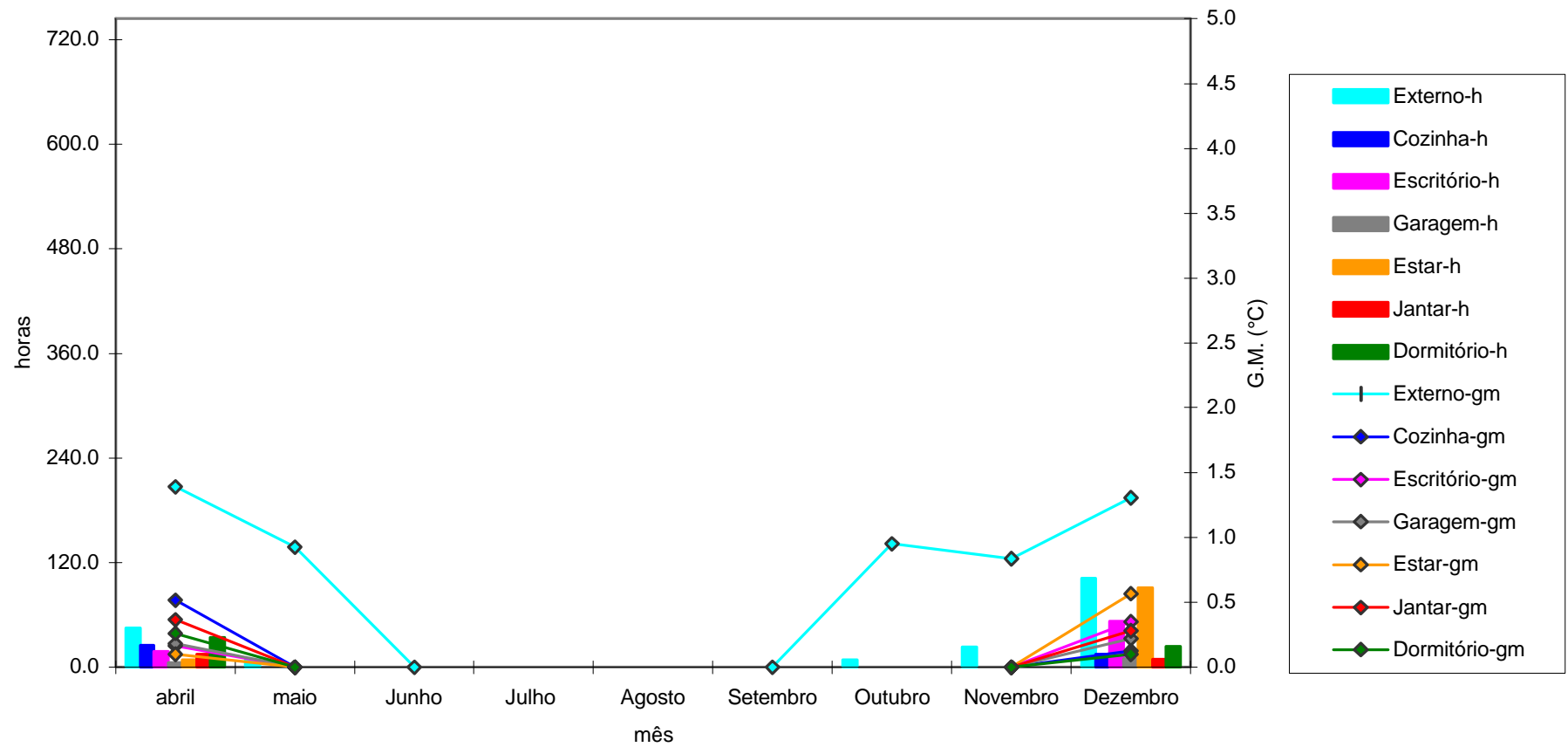


Figura 4.41 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 27°C - Residência 2.

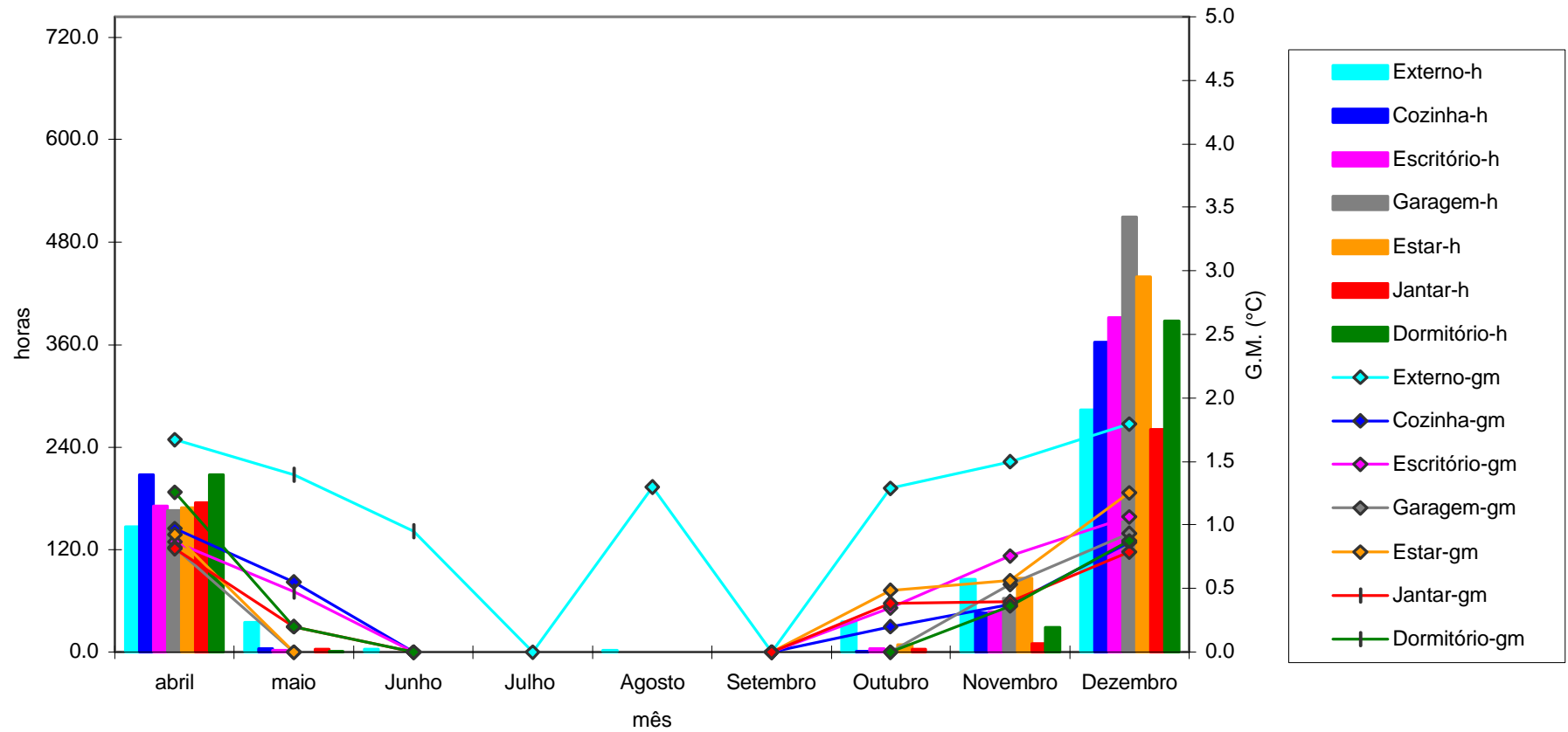


Figura 4.42 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 25°C - Residência 2.

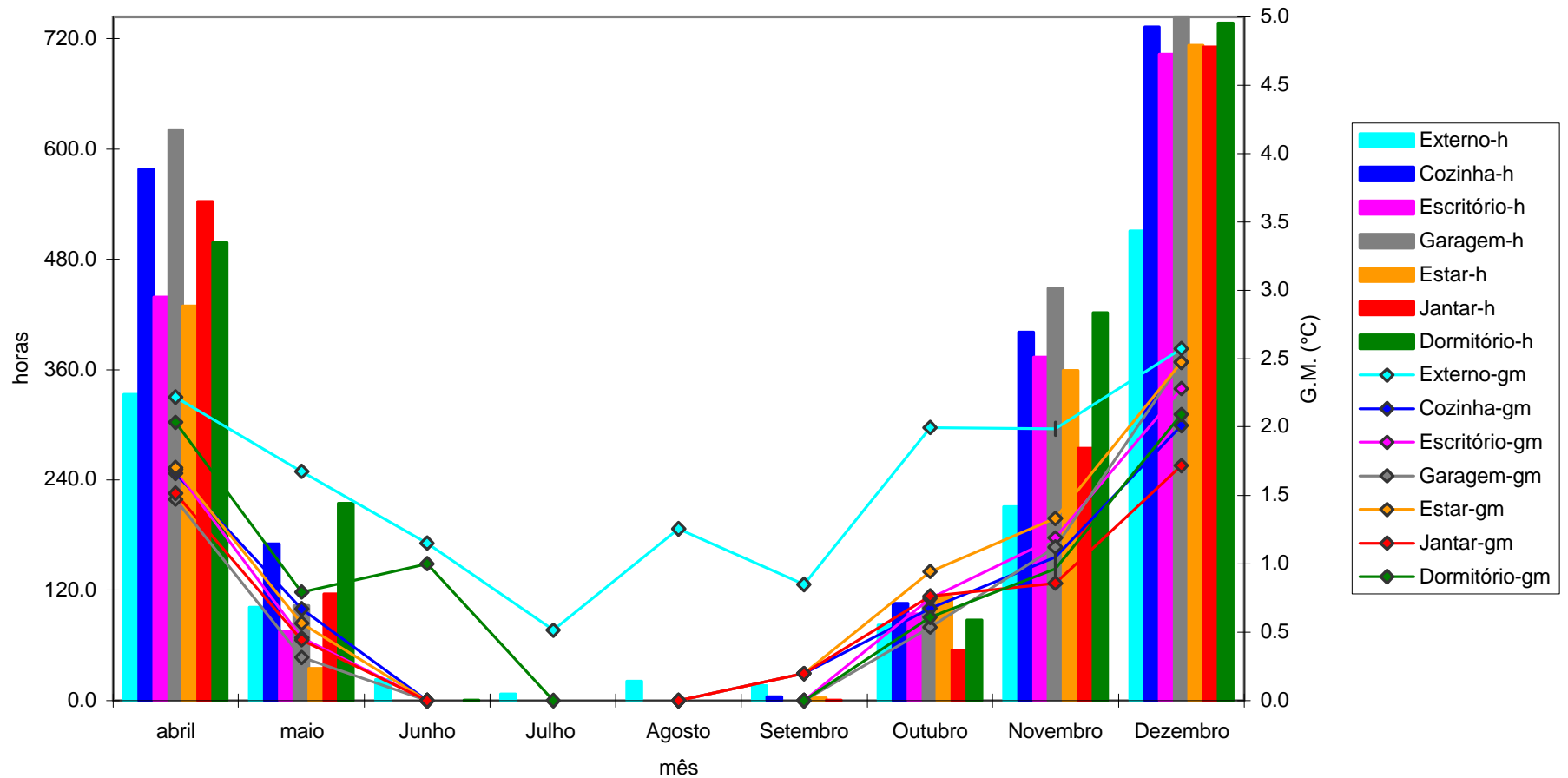


Figura 4.43 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 23°C - Residência 2.

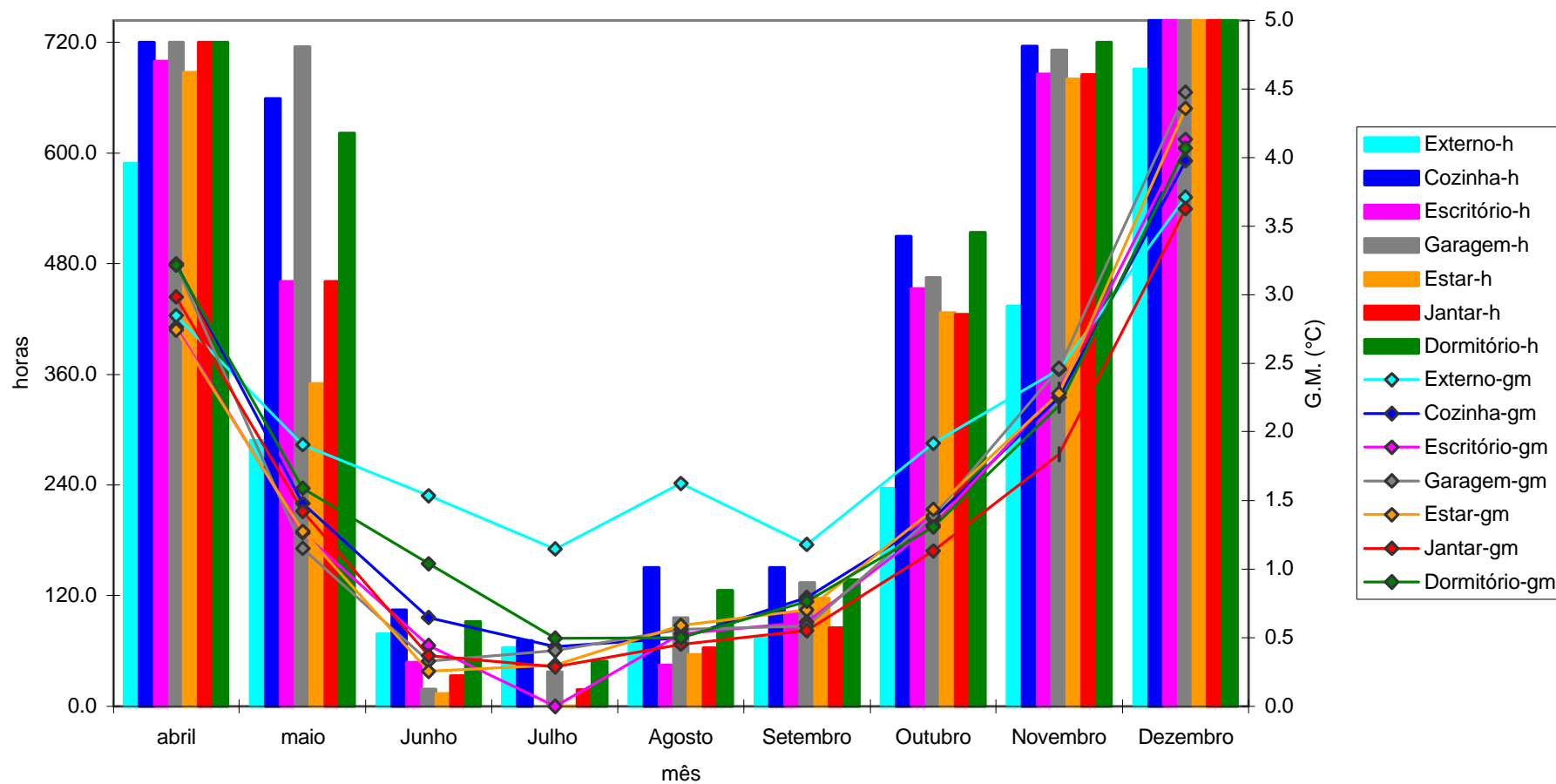


Figura 4.44 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 21°C - Residência 2.

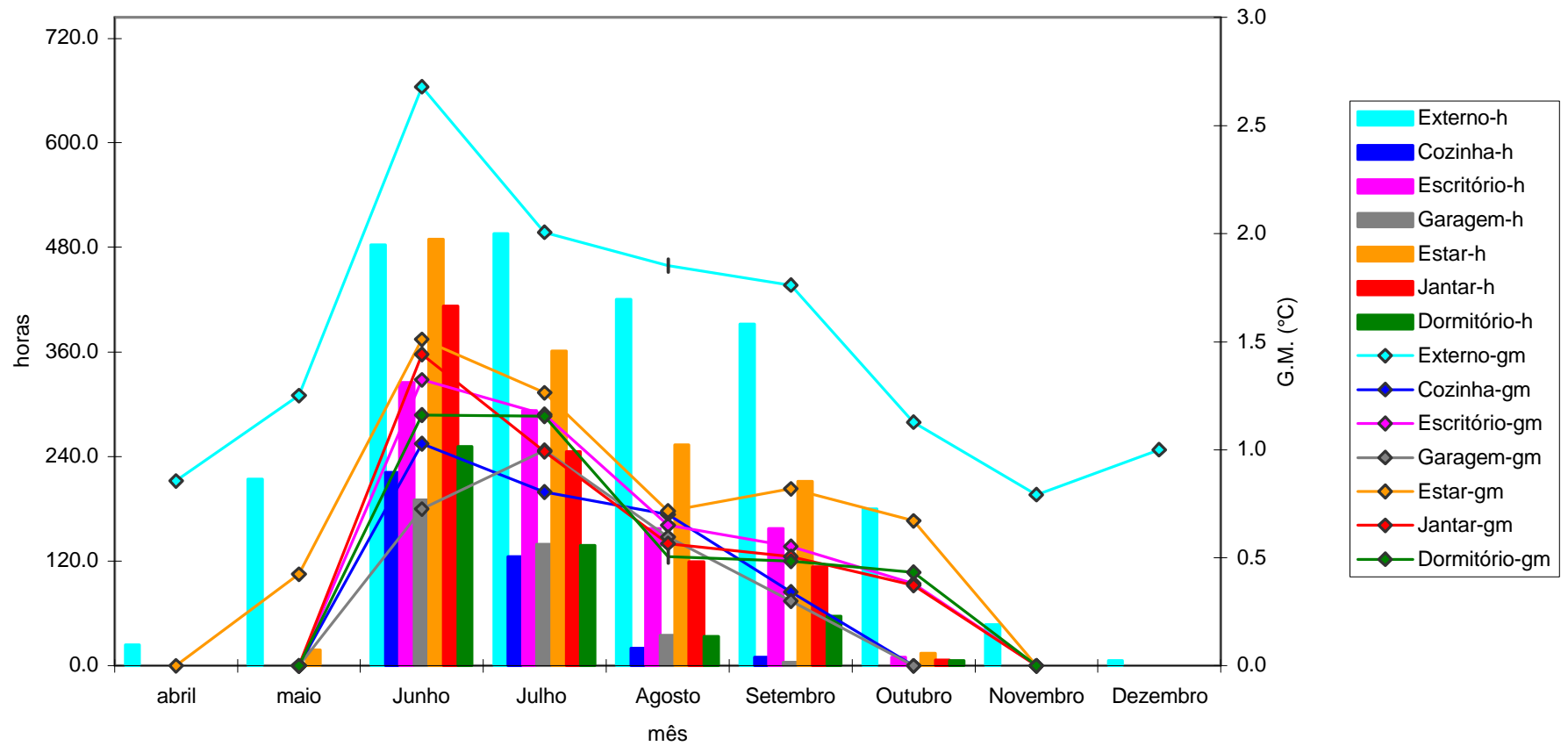


Figura 4.45 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C - Residência 2.

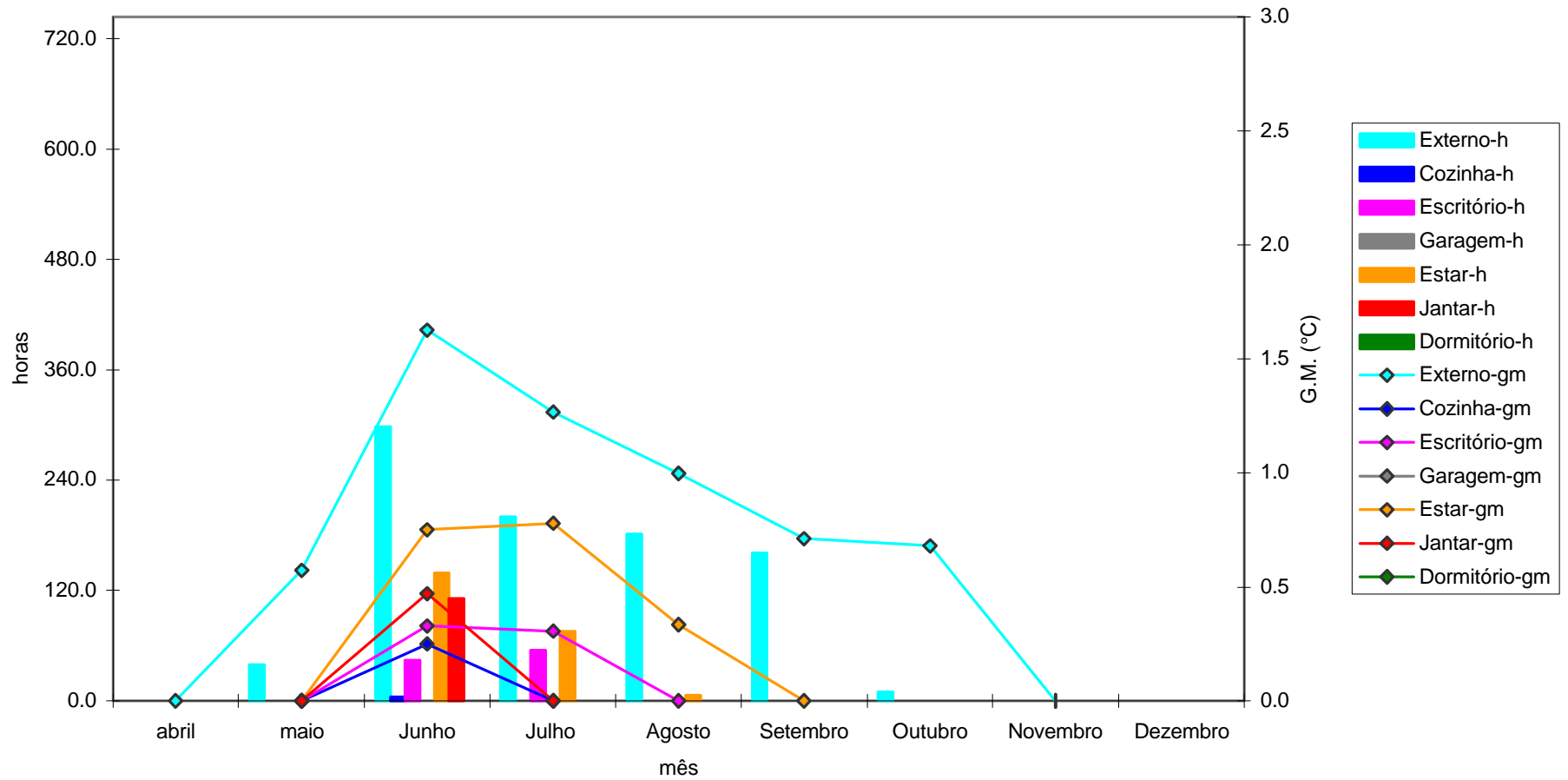


Figura 4.46 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 17°C - Residência 2.

O ambiente interno a apresentar o pior desempenho térmico nos períodos frios foi o Estar, pois apresenta a maior quantidade de horas com temperatura abaixo da base analisada, e o maior grau médio. Os ambientes internos do Escritório e do Jantar, aos quais o Estar encontra-se interligado também apresentaram um desempenho térmico não tão bom quanto a dos outros ambientes.

4.2.2.6 Carta Bioclimática

Os dados do clima externo fornecidos pelo LabSolar - UFSC, plotados sobre a carta Bioclimática de Givoni, mostram a porcentagem de horas de conforto, a porcentagem de horas de desconforto por frio e por calor, e as principais estratégias para alcançar o conforto.

Visto que as medições internas na edificação eram apenas de temperatura e não contemplavam a umidade relativa, os dados de entrada de temperatura dos ambientes internos foram relacionados com os dados de umidade relativa medidos pelo Labsolar - UFSC.

A tabela 4.2 mostra o resultado do relatório de saída do software Analysis, tanto do clima externo, como dos ambientes internos.

Tabela 4.2 Resultado do relatório do Analysis por ambiente Residência 2

	conforto (%)	desconforto (%)		calor (%)				frio (%)				sombreamento(%)
		frio	calor	ventilação	massa p/ resfriamento	resfriamento evaporativo	ar condicionad	massa térmica /aquec.solar	aquec. Solar passivo	aquecimento artificial	umidificação	
Externo	27.9	45.4	26.8	24.1	1.24	1.17	2.65	40.5	4.41	0.5	0	47.1
Cozinha	37.6	14.0	48.5									
Jantar	35.5	21.7	42.8									
Garagem	37.2	14.3	48.6									
Estar	33.7	26.8	39.5									
Escrit.	35.3	22.6	42.1									
Dormit.	36.3	16.1	47.6									
Média	35.9	19.3	44.8									
D.Padrão	1.42	5.22	3.88									

O conforto interno foi superior ao externo, variando de 33.7% a 37.6%. Em todos os ambientes o desconforto por frio externo foi percentualmente reduzido,

enquanto o desconforto por calor que estava em 27% passou para valores acima de 39%. A cozinha, garagem e o dormitório apresentaram proporcionalmente o maior aumento no índice de conforto, mas também foram os três ambientes que mais apresentaram desconforto por calor.

4.2.3 Residência 3

4.2.3.1 Distribuição de TBS

As figuras 4.43, 4.44, e 4.45 demonstram a distribuição de temperatura dos ambientes internos, temperatura externa medida na residência, e temperatura de bulbo seco e radiação medidos no Labsolar, nos três períodos pré estabelecidos.

Existem diferenças de valores entre as temperaturas de bulbo seco medidas pelo Labsolar e as medições de temperatura feitas na parte externa da edificação.

A oscilação térmica externa é fortemente sentida por esta edificação. As temperaturas máximas internas são majoradas pelo ganho de calor advindo da radiação solar. Os ambientes que apresentam maior aumento na temperatura interna são o escritório, o dormitório 3 e a copa. Estes três ambientes apresentaram temperaturas internas acima da máxima externa em quase todo o período das medições.

O porão tende a ter uma temperatura constante, sendo que a oscilação externa é pouco sentida. No período quente a temperatura interna do porão fica abaixo da média externa, oscilando entre 19°C e 22°C. No período ameno, a oscilação de temperatura interna do porão é menor do que a do período quente, pois as temperaturas externas mantêm-se próximas da temperatura média interna do porão. No período frio, apesar da oscilação térmica externa, o porão mantêm-se entre 16°C e 19°C.

O dormitório 1, em todo o período da monitoração, mostrou-se com o melhor desempenho térmico comparando-se com os outros ambientes desta edificação. Os picos máximos e mínimos são bem amortecidos.

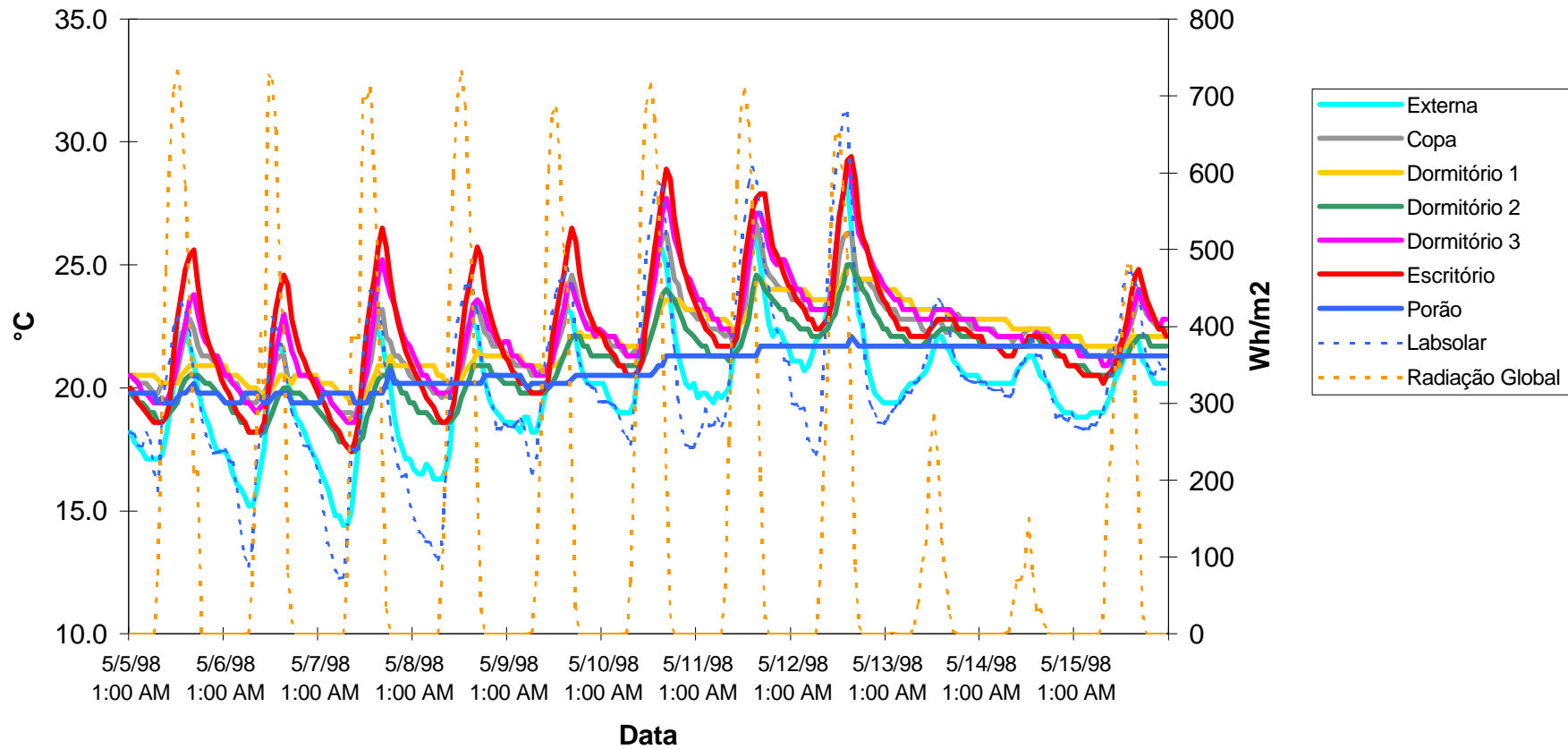


Figura 4.47 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 3 – período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

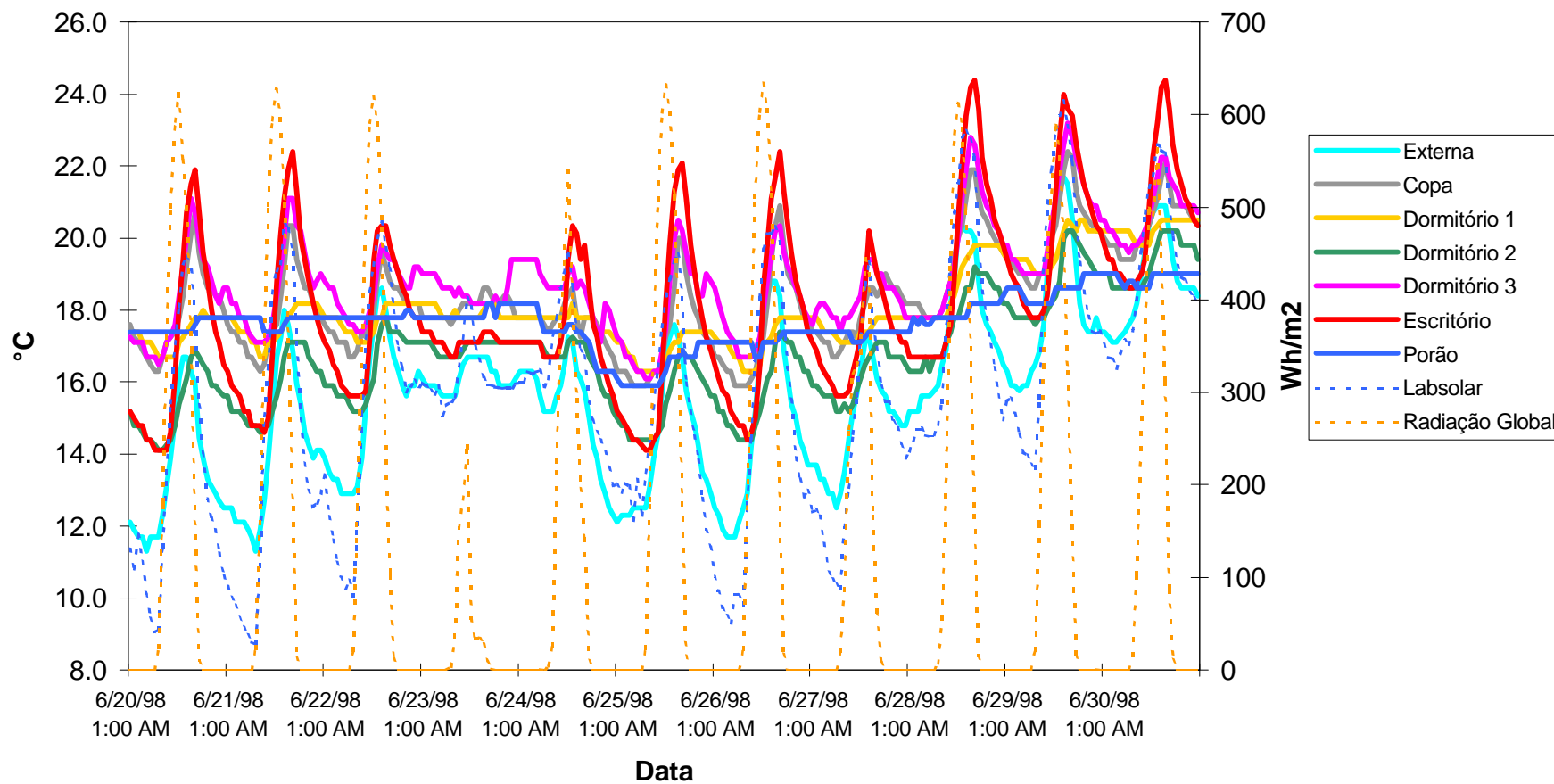


Figura 4.48 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 3 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

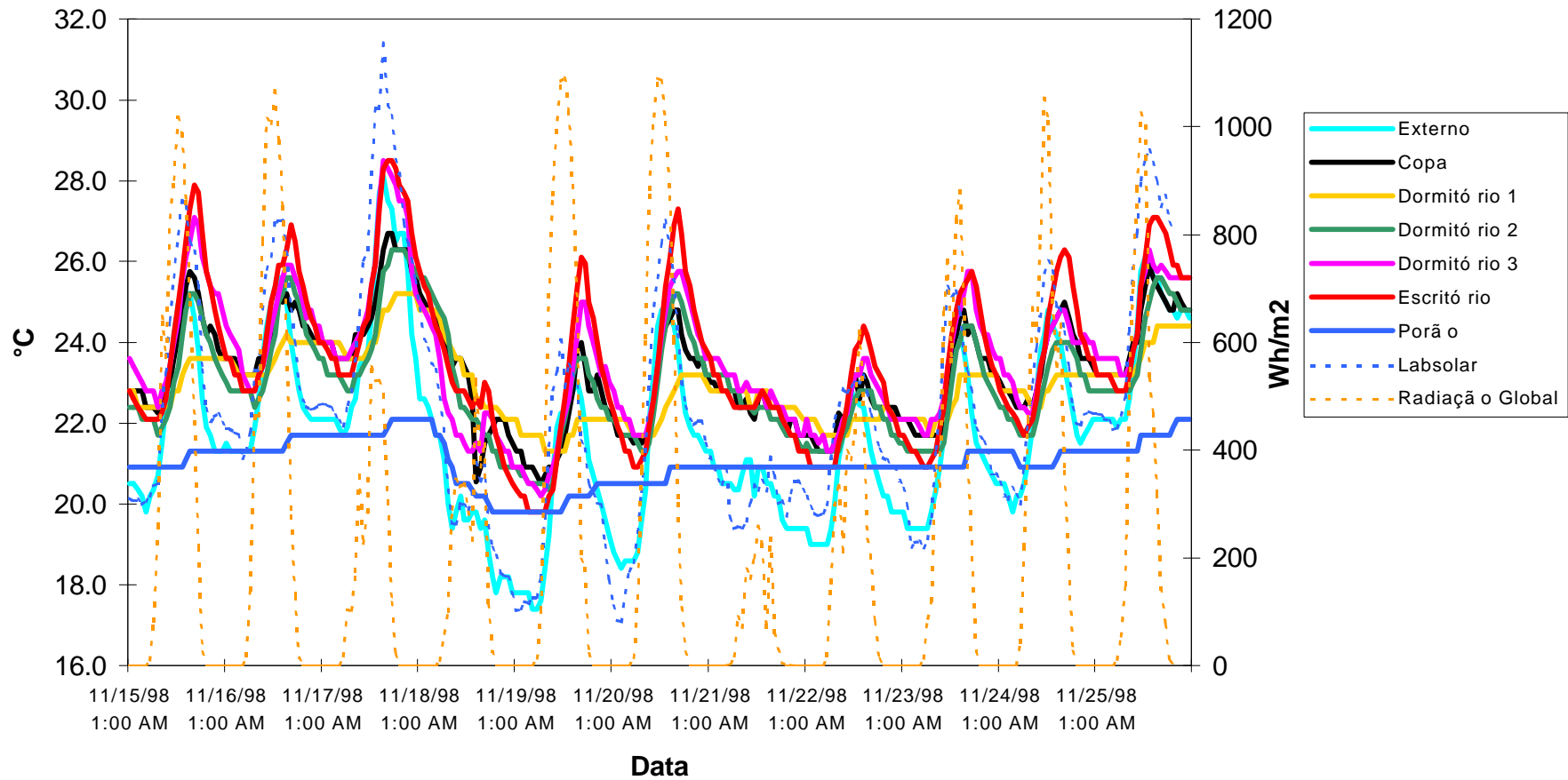


Figura 4.49 Distribuição de TBS e Radiação Global Residência 3 – período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

O dormitório 2 e o Escritório são os dois ambientes internos que apresentam as menores temperaturas diárias nos três períodos, mas não chegam a alcançar a mínima temperatura externa.

O dormitório 2 apresentou um desempenho bastante diversificada nos três períodos analisados. No período frio e no ameno a temperatura interna deste ambiente tende a seguir a temperatura externa. No período quente sua temperatura máxima torna-se superior a do dormitório 1, chegando próxima a temperatura máxima da Copa

De uma forma geral, as temperaturas máximas externas tem maior influência nos ambientes internos do que as mínimas externas. As entradas de frentes frias não são sentidas por esta edificação como a chegada de uma massa de ar quente.

4.2.3.2 Distribuição de Amplitudes Térmicas

As figuras 4.46, 4.47, e 4.48 demonstram a distribuição de amplitudes dos ambientes internos e temperatura externa medida na residência, nos três períodos pré estabelecidos.

O que predomina nestes gráficos é a grande amplitude interna frente às amplitudes externas. As amplitudes do escritório em vários momentos sobrepuja a amplitude externa.

A amplitude da copa em alguns momentos que não os que aparecem neste período, superou a amplitude externa. Mas estes dias coincidem com fins de semana ou com quedas bruscas de temperatura externa.

As amplitudes do dormitório 1 tendem a acompanhar as amplitudes externas, mas diminuindo no mínimo pela metade a amplitude externa em qualquer período da medição.

O dormitório 2 apresenta suas amplitudes aumentando a medida que aumenta as temperaturas externas. As amplitudes no período mais frio são menores, aumentando no período ameno, e tornando-se maiores no período quente.

No dormitório 3 as amplitudes são menores, ou no mínimo se equivalem as amplitudes externas durante todo o período.

O porão raramente apresenta amplitudes acima de 1 K, normalmente ela ocorre quando há uma entrada de frente fria. Os aumentos bruscos de temperatura são bem amortecidos pelo porão, mas as quedas bruscas de temperatura externa são mais sentidas.

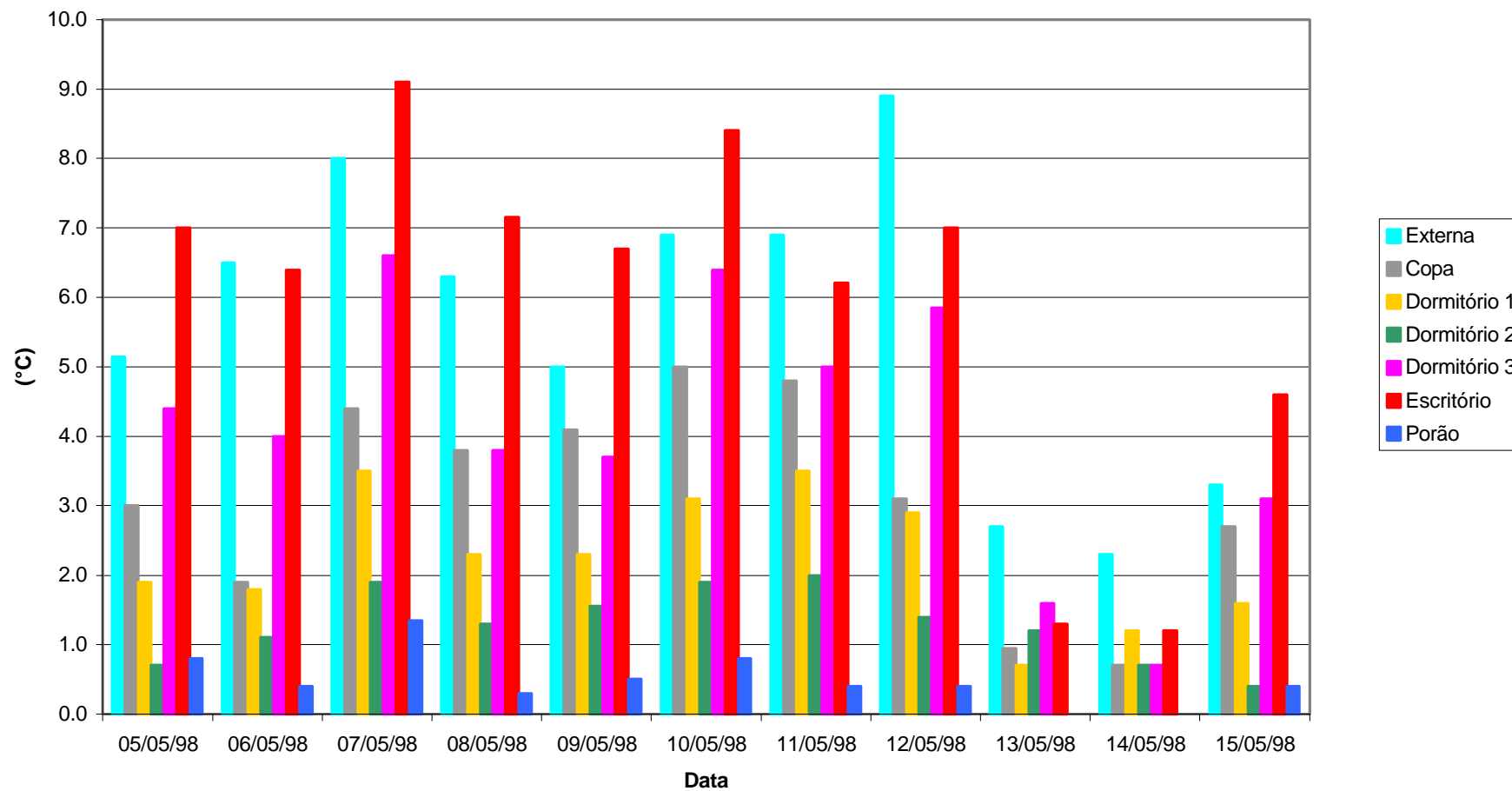


Figura 4.50 Amplitudes Térmicas Residência 3 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

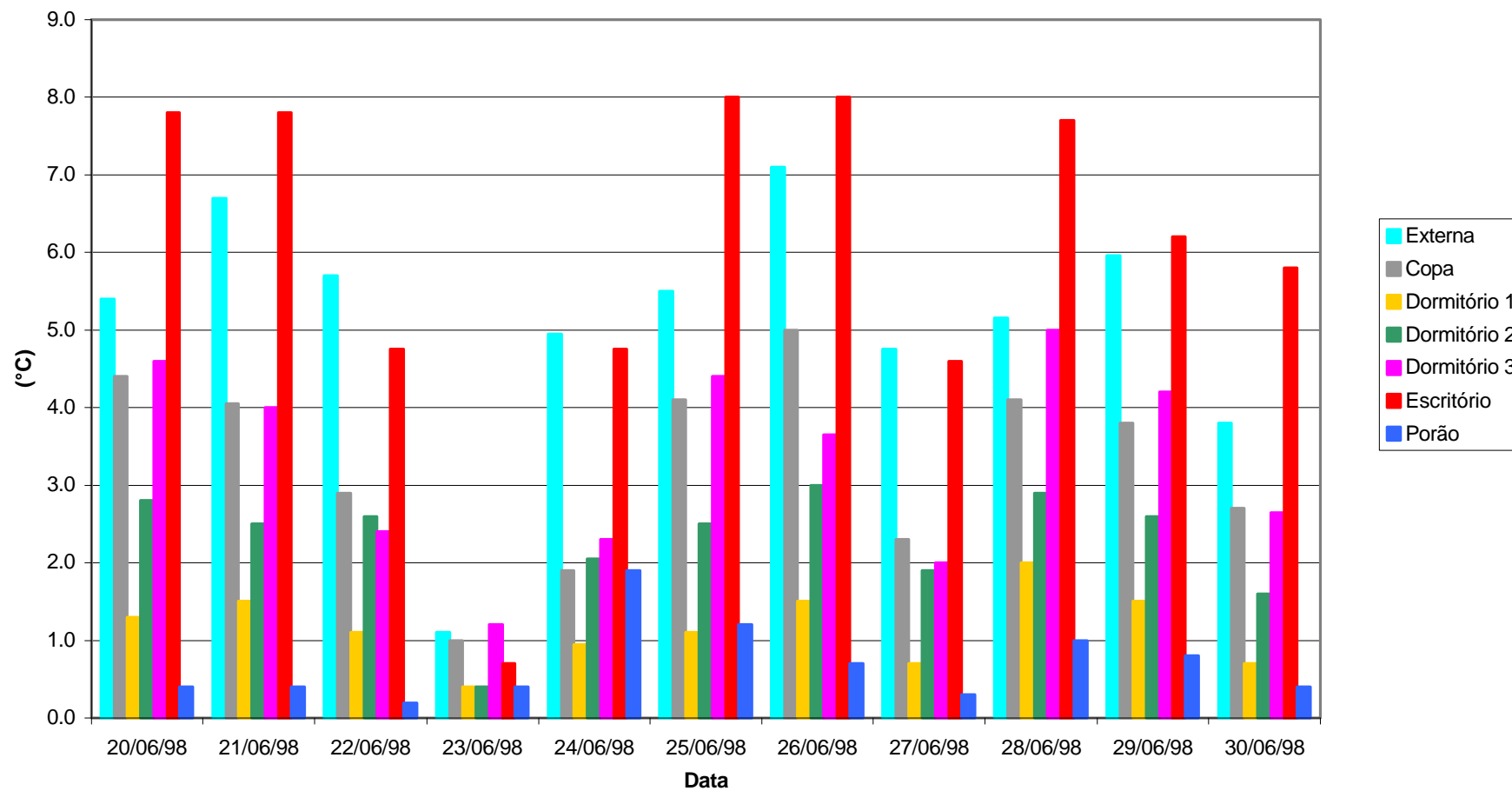


Figura 4.51 Amplitudes Térmicas Residência 3 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

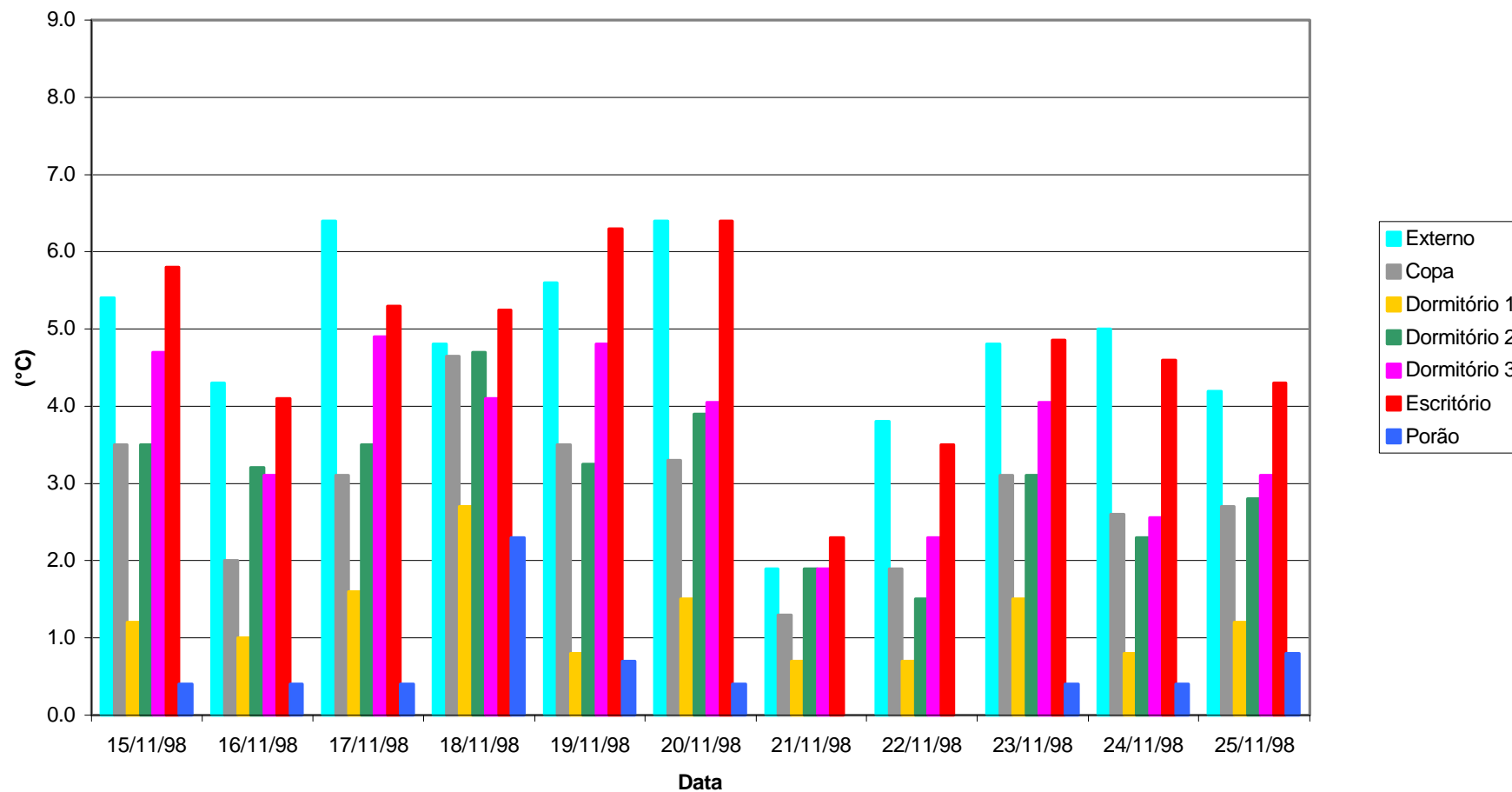


Figura 4.52 Amplitudes Térmicas Residência 3 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

4.2.3.3 Amortecimento

As figuras 4.49, 4.50, e 4.51 demonstram o amortecimento térmico dos ambientes internos nos três períodos pré estabelecidos.

Nos três gráficos de amortecimento percebe-se o pior desempenho de amortecimento térmico no escritório. O valor 1 significa que o ambiente não amortece em nada a temperatura externa. O amortecimento deste ambiente esteve várias vezes com seu valor acima de 1. O amortecimento superior do escritório mostrou-se em muitos momentos com pior desempenho do que o amortecimento inferior.

O dormitório 3 é o segundo ambiente a apresentar o pior desempenho de amortecimento térmico. Numa análise mais ampla do que a dos dias aqui apresentados, no período quente o amortecimento inferior apresenta um pior desempenho do que o amortecimento superior, ficando seu índice em torno de 0.8, e isto se inverte no período frio, e seu índice fica em torno de 0.7. No período ameno intercalam-se os amortecimentos superiores e inferiores, de forma que não dá para ter-se uma tendência, e seu índice fica em torno de 0.7.

O amortecimento da copa em muito se aproxima do amortecimento do dormitório 3 nos períodos frio e ameno, no período quente o amortecimento da copa foi um pouco melhor do que o do dormitório 3. O amortecimento no período frio ficou em torno de 0.7, e no período ameno e quente por volta de 0.6.

O dormitório 1 apresentou o amortecimento superior com um melhor desempenho térmico do que o amortecimento inferior. Seus valores de amortecimento ficam em torno de 0.2 no período frio e quente, e em torno de 0.4 no período ameno.

Já o dormitório 2 apresentou seu melhor desempenho no período ameno, índice de amortecimento em torno de 0.2, piorando seu desempenho no período frio, por volta de 0.5, e aumentando para 0.7 no período quente.

O melhor índice de amortecimento térmico em todos os períodos é o do porão. O amortecimento do porão foi bem melhor no período quente, mas seu índice ficou em torno de 0.1 nos três períodos.

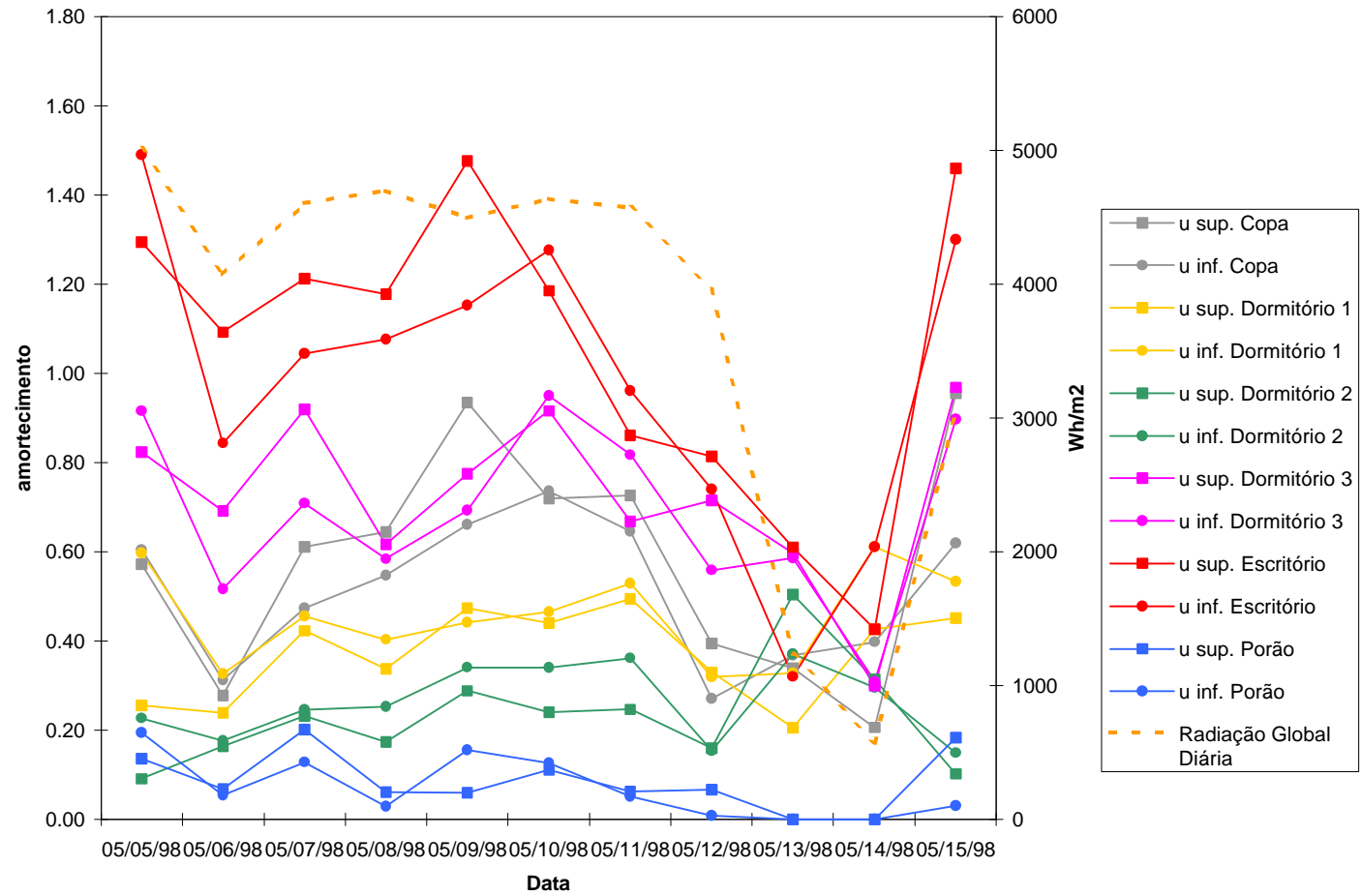


Figura 4.53 Amortecimento Térmico Residência 3 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

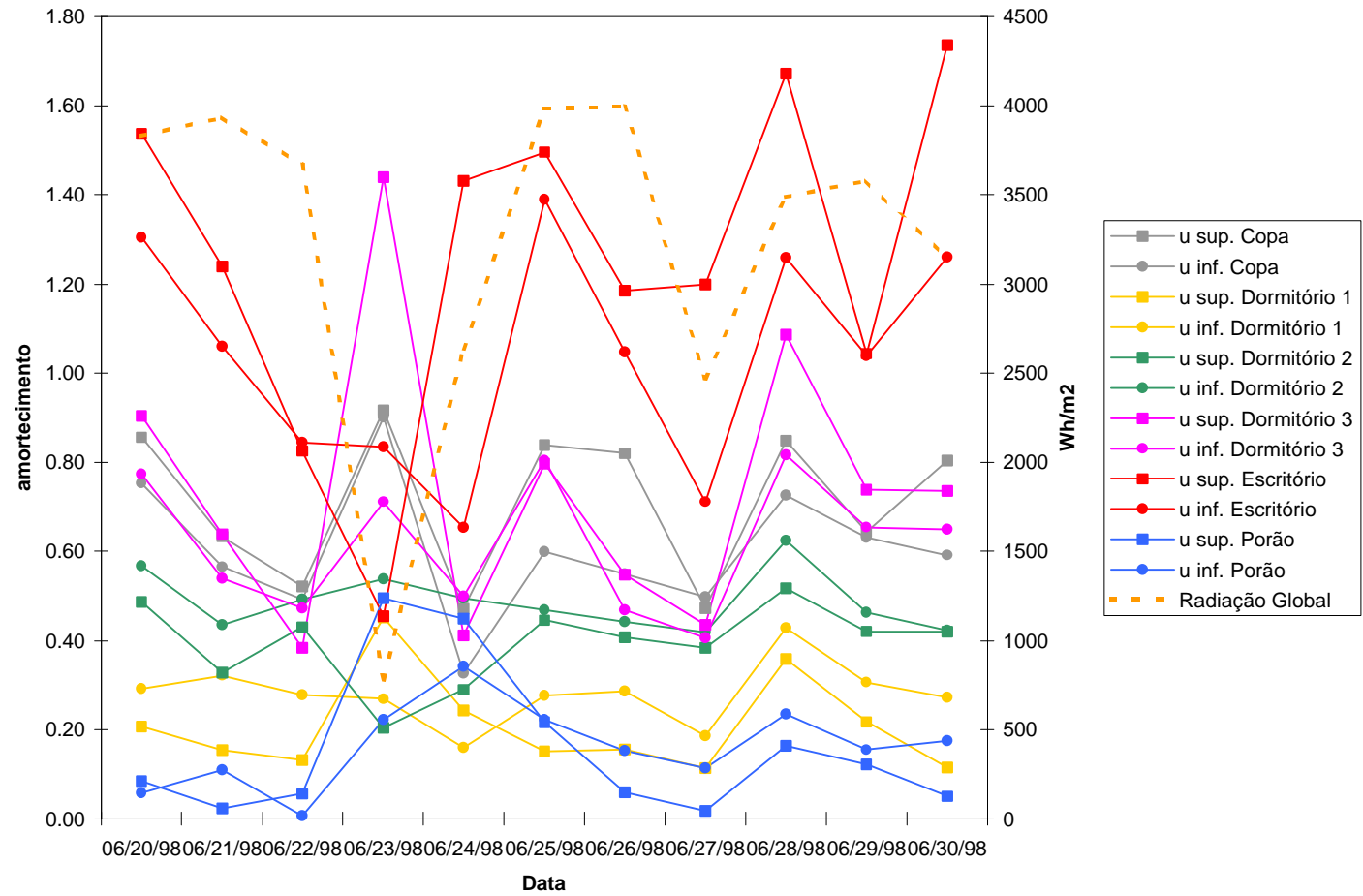


Figura 4.54 Amortecimento Térmico Residência 3 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

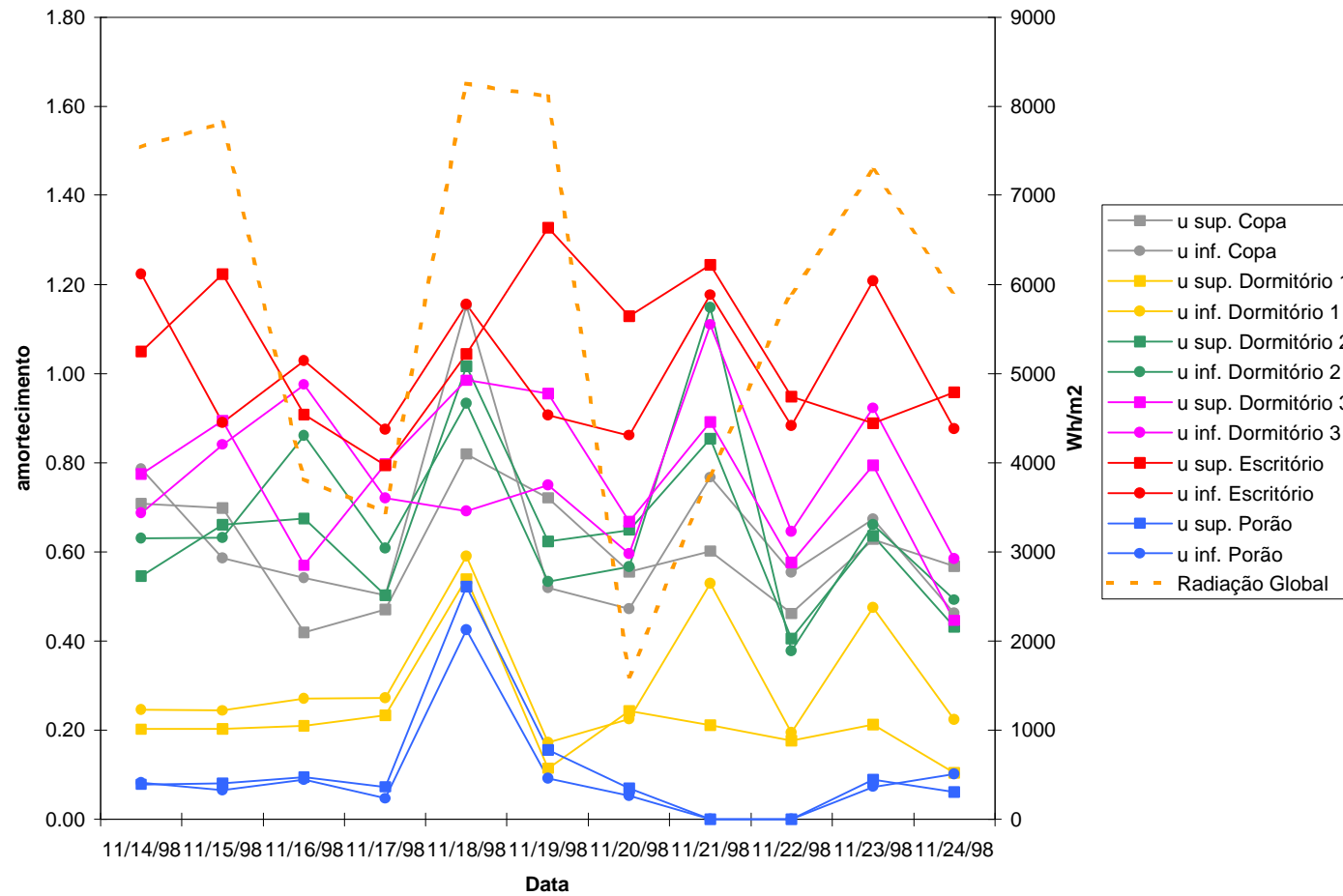


Figura 4.55 Amortecimento Térmico Residência 3 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

4.2.3.4 Atraso Térmico Residência 3

As figuras 4.52, 4.53, e 4.54 demonstram o atraso térmico dos ambientes internos nos três períodos pré estabelecidos.

A maior predominância de atraso térmico dos ambientes internos nesta edificação ficam entre 1 e 2 horas, no período frio e ameno. No período quente o atraso térmico varia de 1 a 3 horas.

Os ambientes internos apresentaram algumas exceções na variação do atraso térmico acima exposto.

O porão é o ambiente interno que apresenta o atraso térmico mais variado, e retirando-se os picos excessivo, de uma maneira geral, fica entre 1 a 5 horas.

4.2.3.5 Somatório de Graus Hora

As figuras 4.55 a 4.62 mostram, nos nove meses de medição, o grau médio e a quantidade de horas acima ou abaixo de cada uma das bases de temperatura analisadas. As tabelas com os valores da análise de graus hora para as diferentes bases encontram-se na Home Page do LabEEE (<http://www.labeee.ufsc.br/sobre/so-tdd.html>).

As figuras 4.55 a 4.59 referem-se a análise de temperaturas acima das bases de 29°C a 21°C.

Nas figuras que demonstram a análise de temperaturas das bases acima de 21°C, existe a predominância das horas internas superiores à quantidade de horas com temperaturas externa acima das bases analisadas.

Nestas figuras percebe-se ainda a predominância do grau médio dos ambientes do Escritório e do Dormitório 3 acima do grau médio externo, além de superarem as horas com temperatura externa acima de todas as bases acima de 21°C.

O Porão normalmente só supera as horas com temperaturas externa acima da base de 21°C e nos meses mais quentes. E o grau médio do porão é bem inferior ao grau médio externo e dos outros ambientes intenos.

No mês de dezembro os ambientes internos apresentaram quase todas as suas horas mensais acima de 21°C.

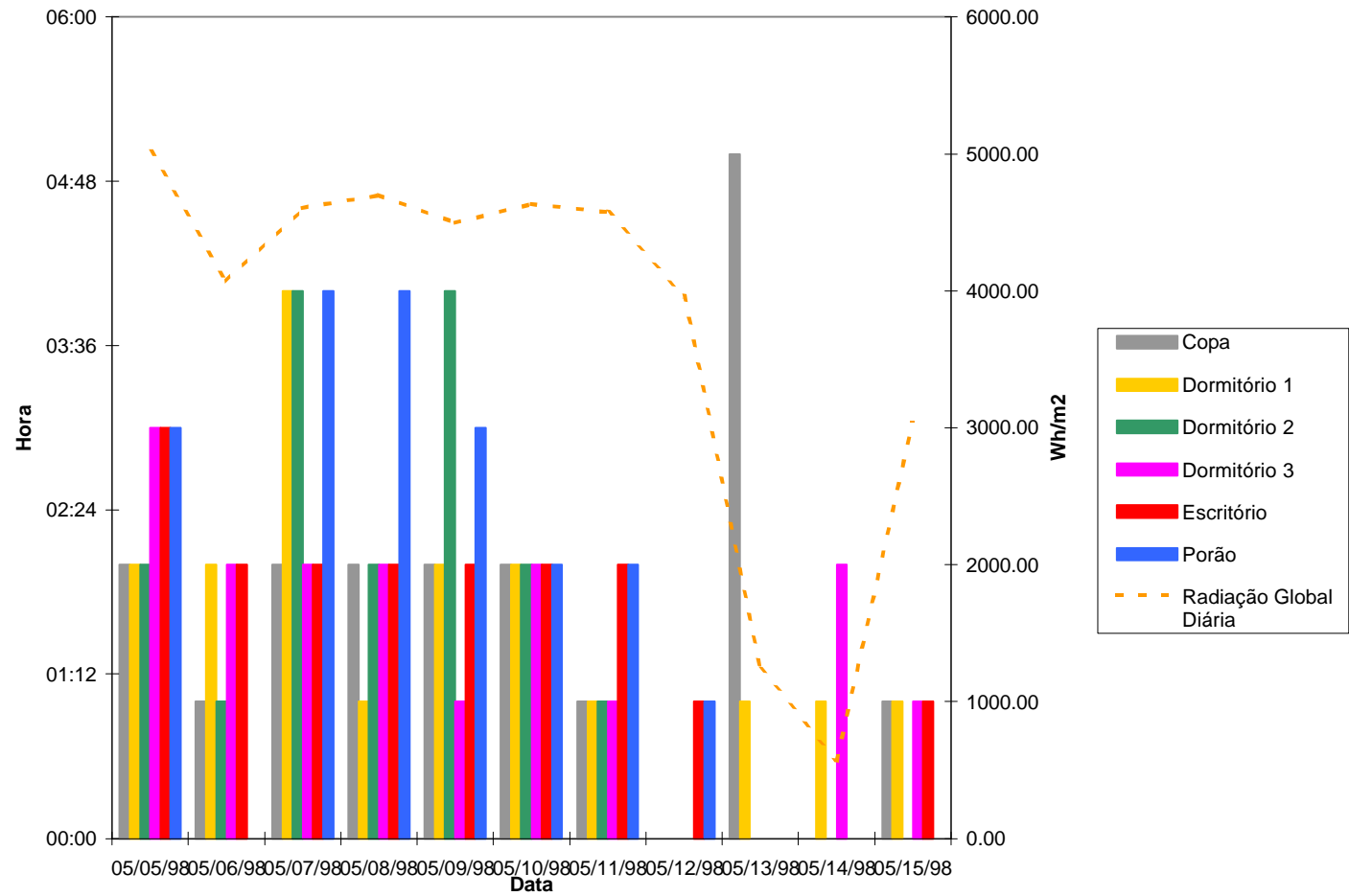


Figura 4.56 Atraso Térmico Residência 3 - período de 05/05/1998 a 15/05/1998.

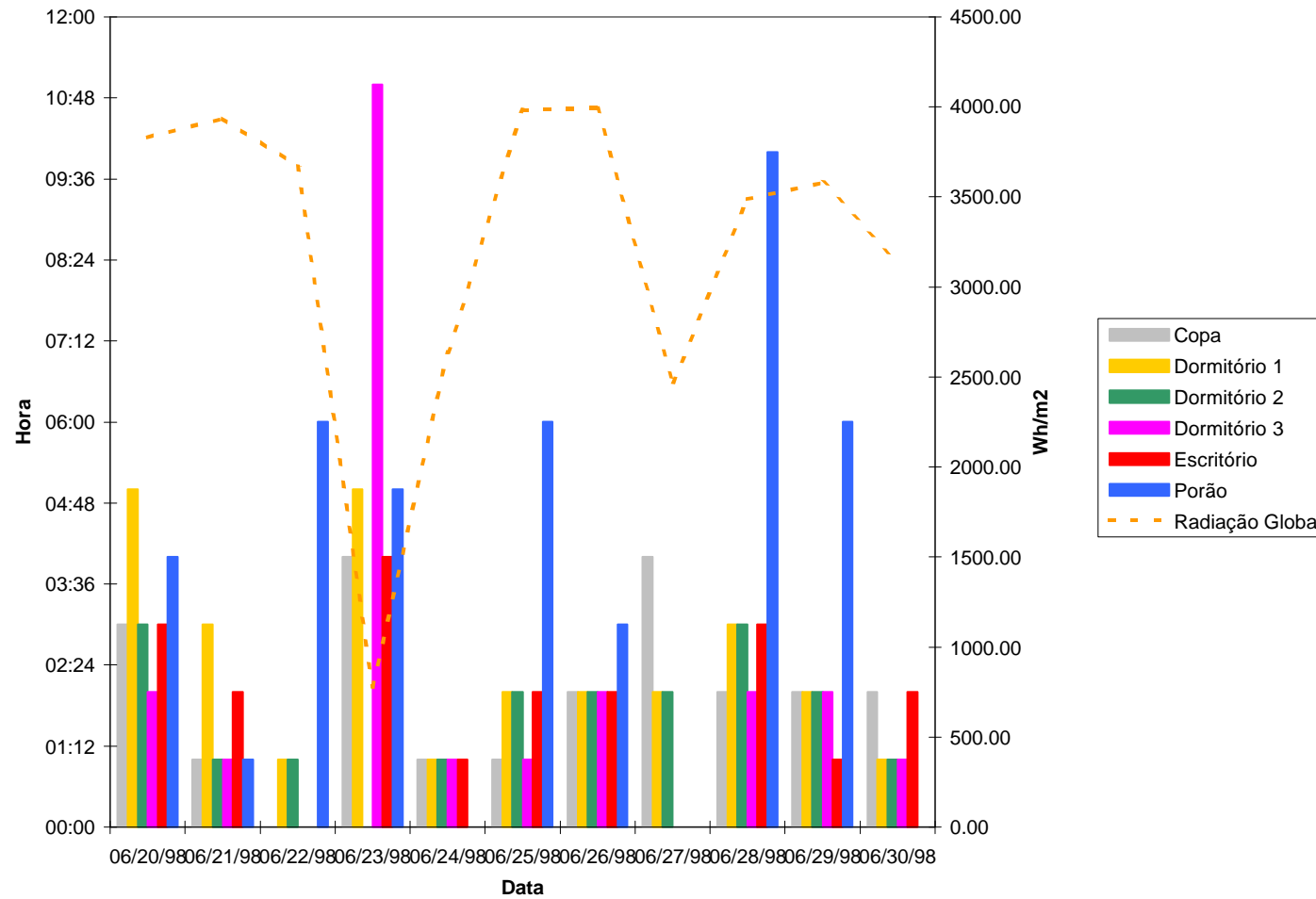


Figura 4.57 Atraso Térmico Residência 3 – período de 20/06/1998 a 30/06/1998.

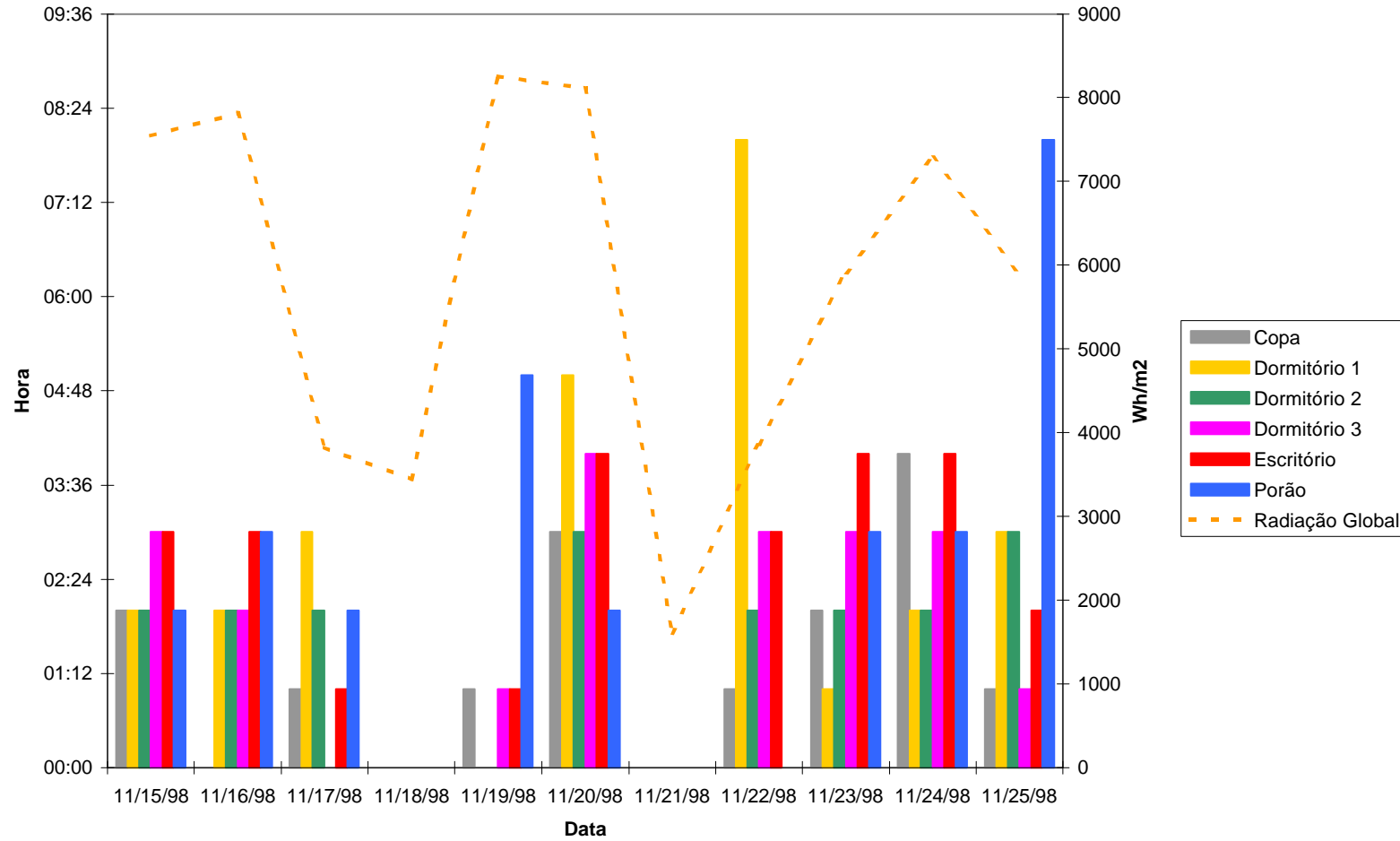


Figura 4.58 Atraso Térmico Residência 3 - período de 15/11/1998 a 25/11/1998.

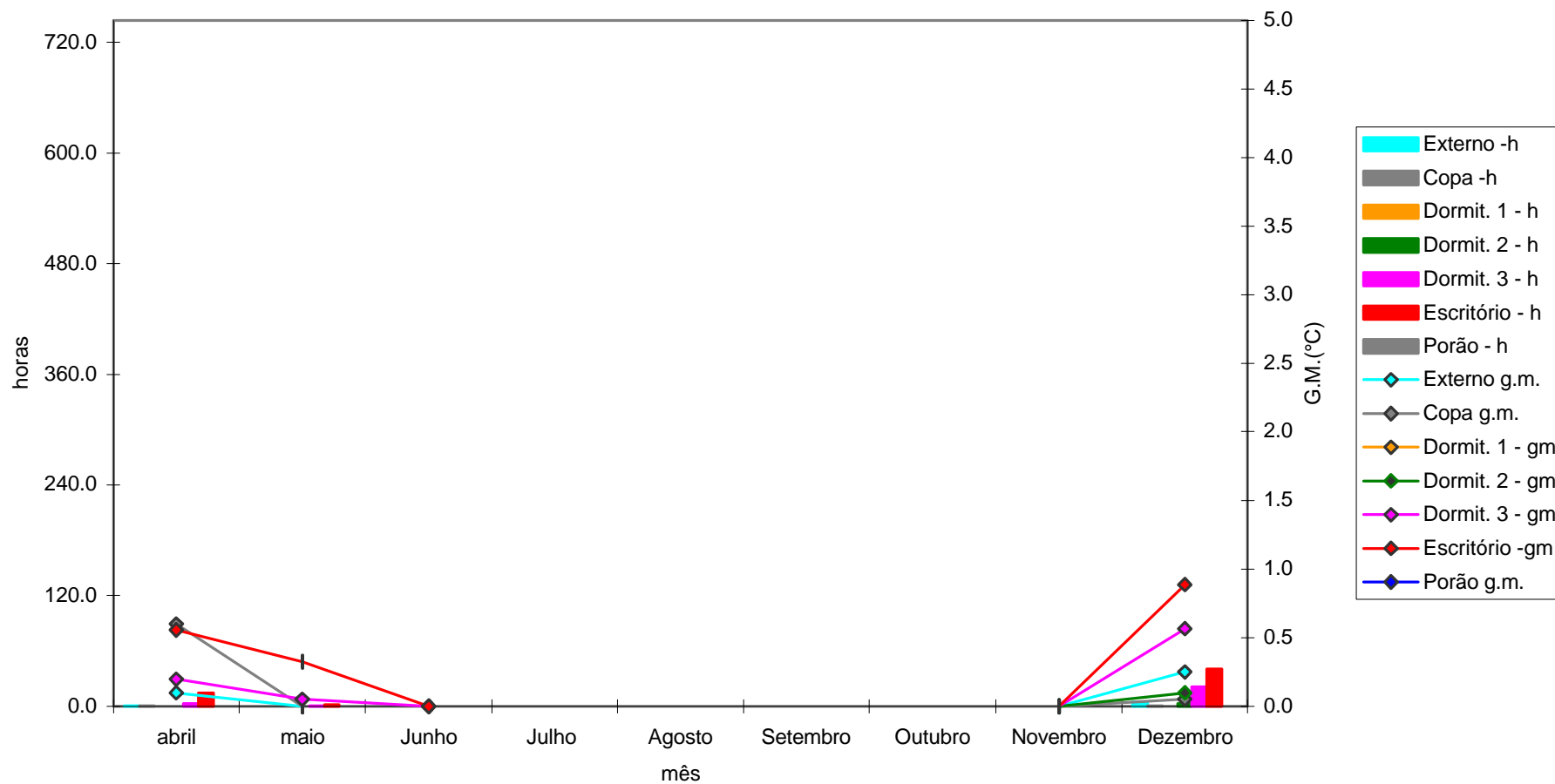


Figura 4.59 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 29°C - Residência 3.

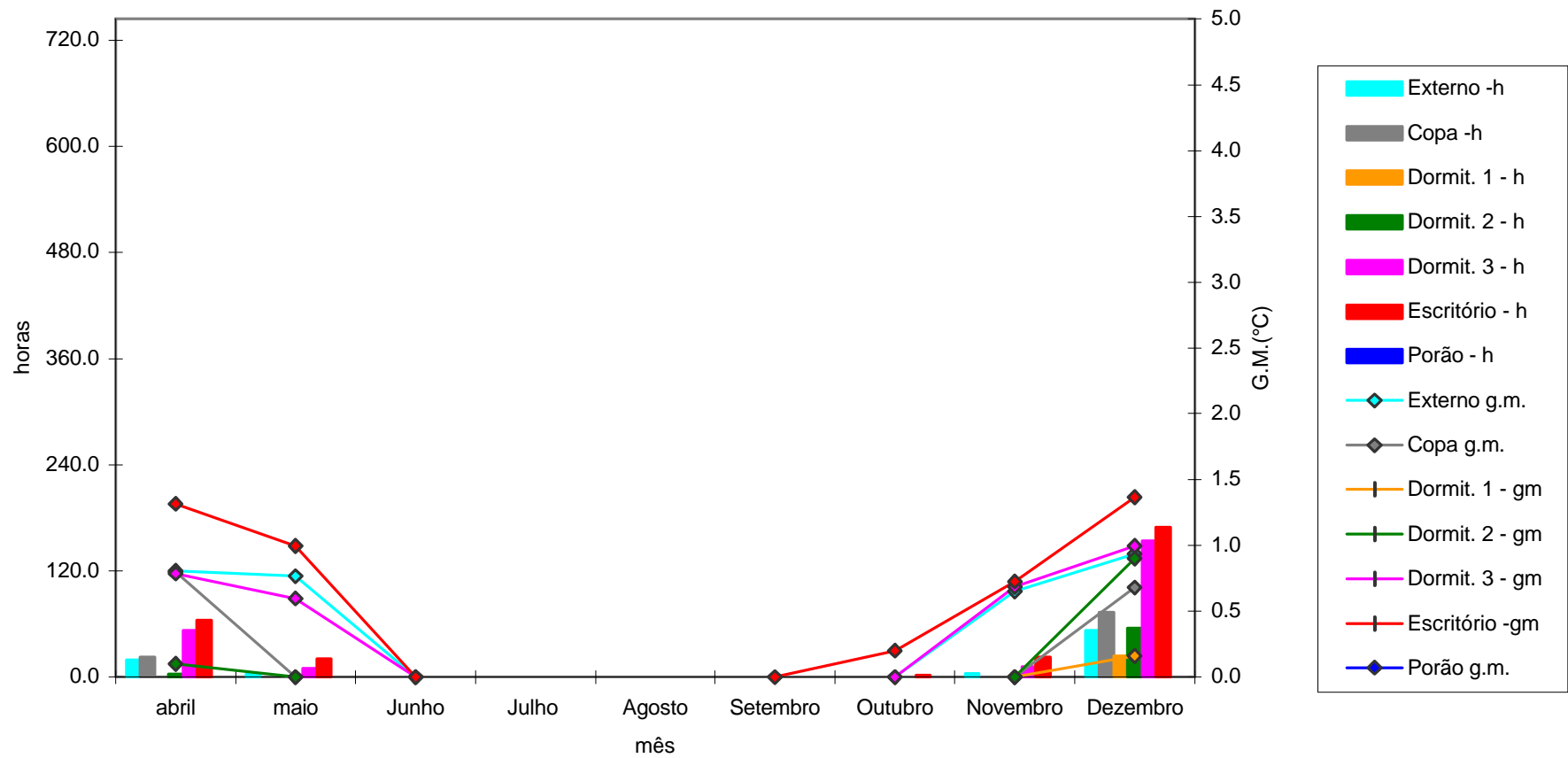


Figura 4.60 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 27°C - Residência 3.

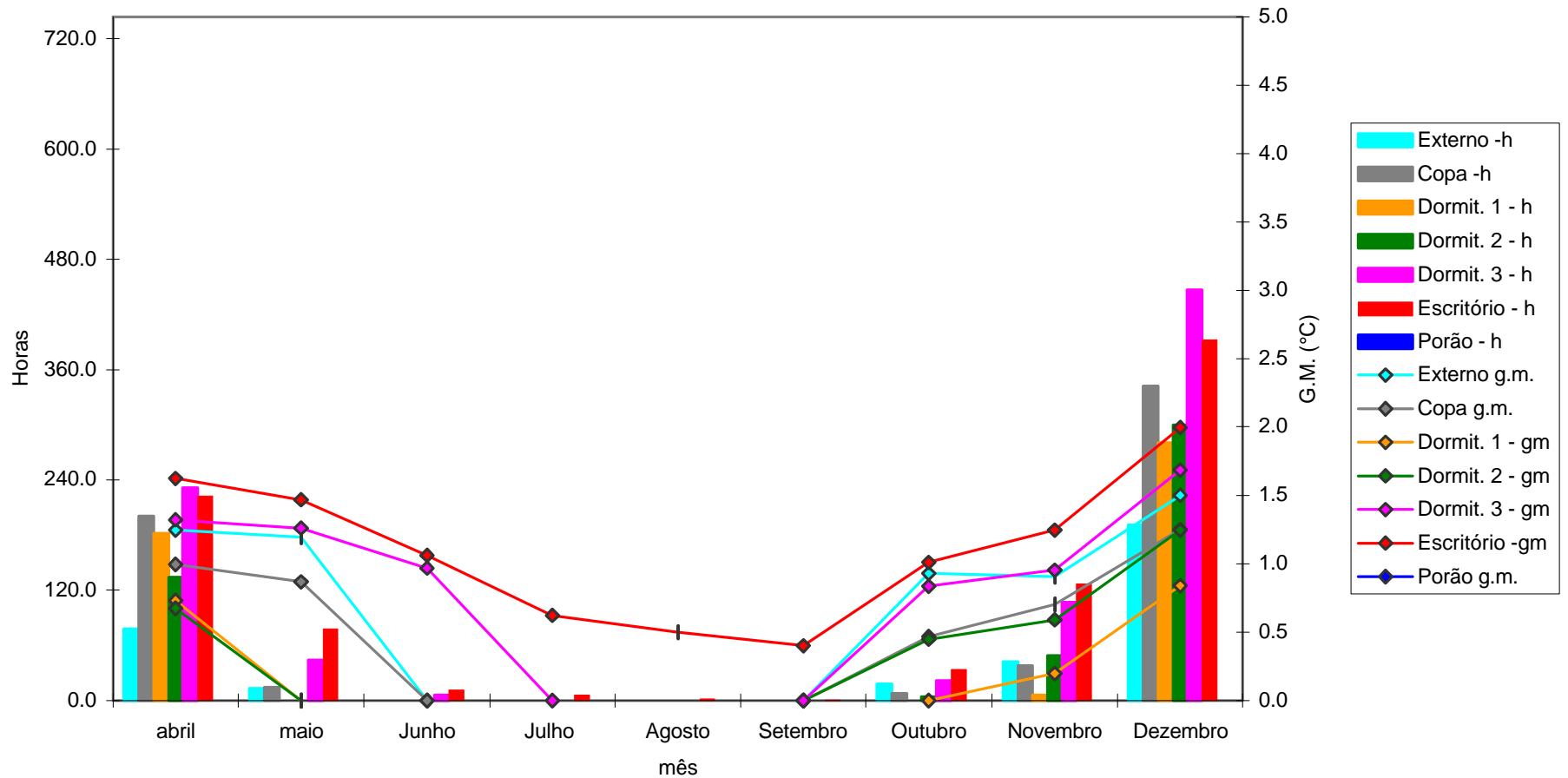


Figura 4.61 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 25°C - Residência 3.

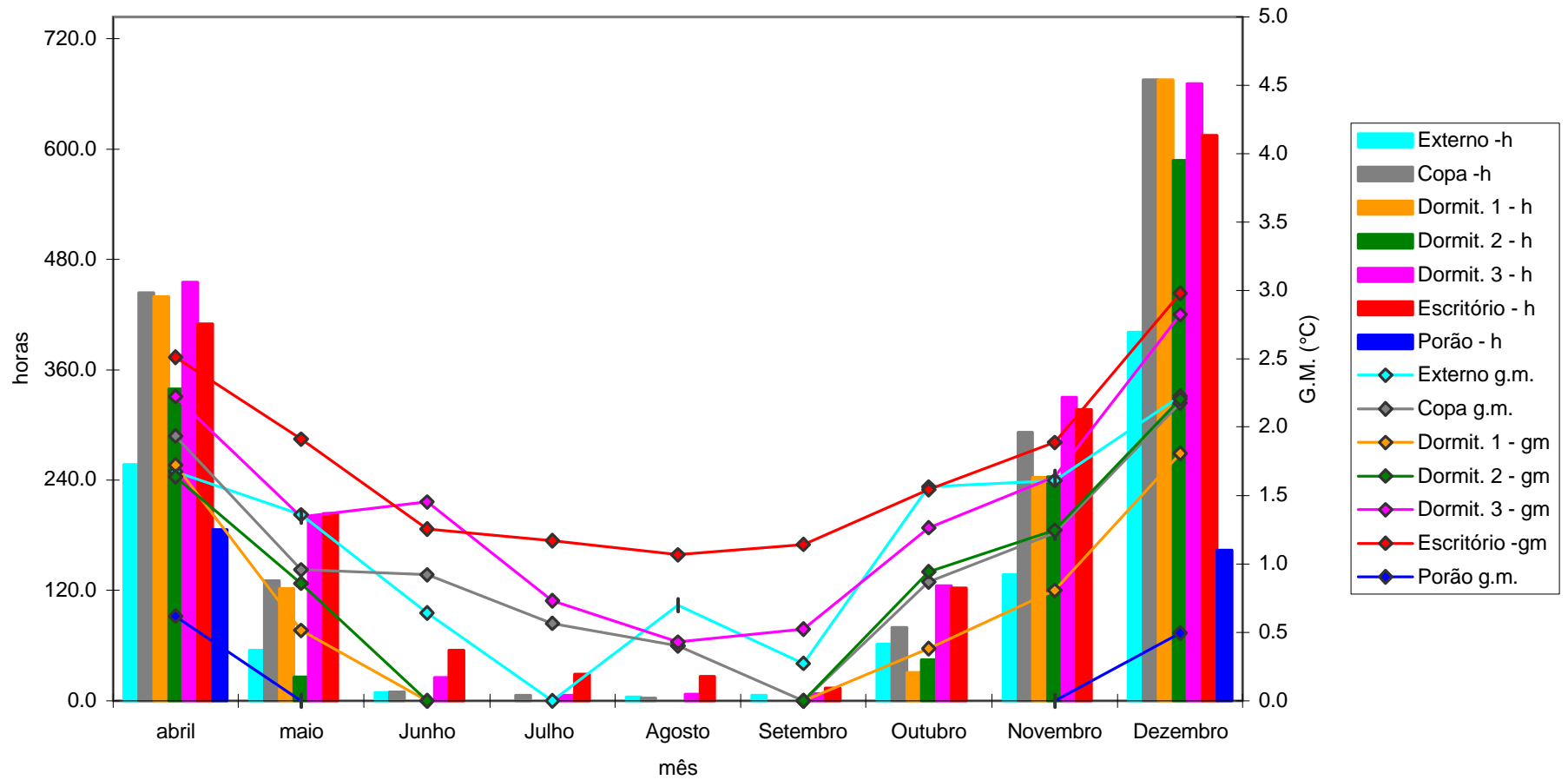


Figura 4.62 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 23°C - Residência 3.

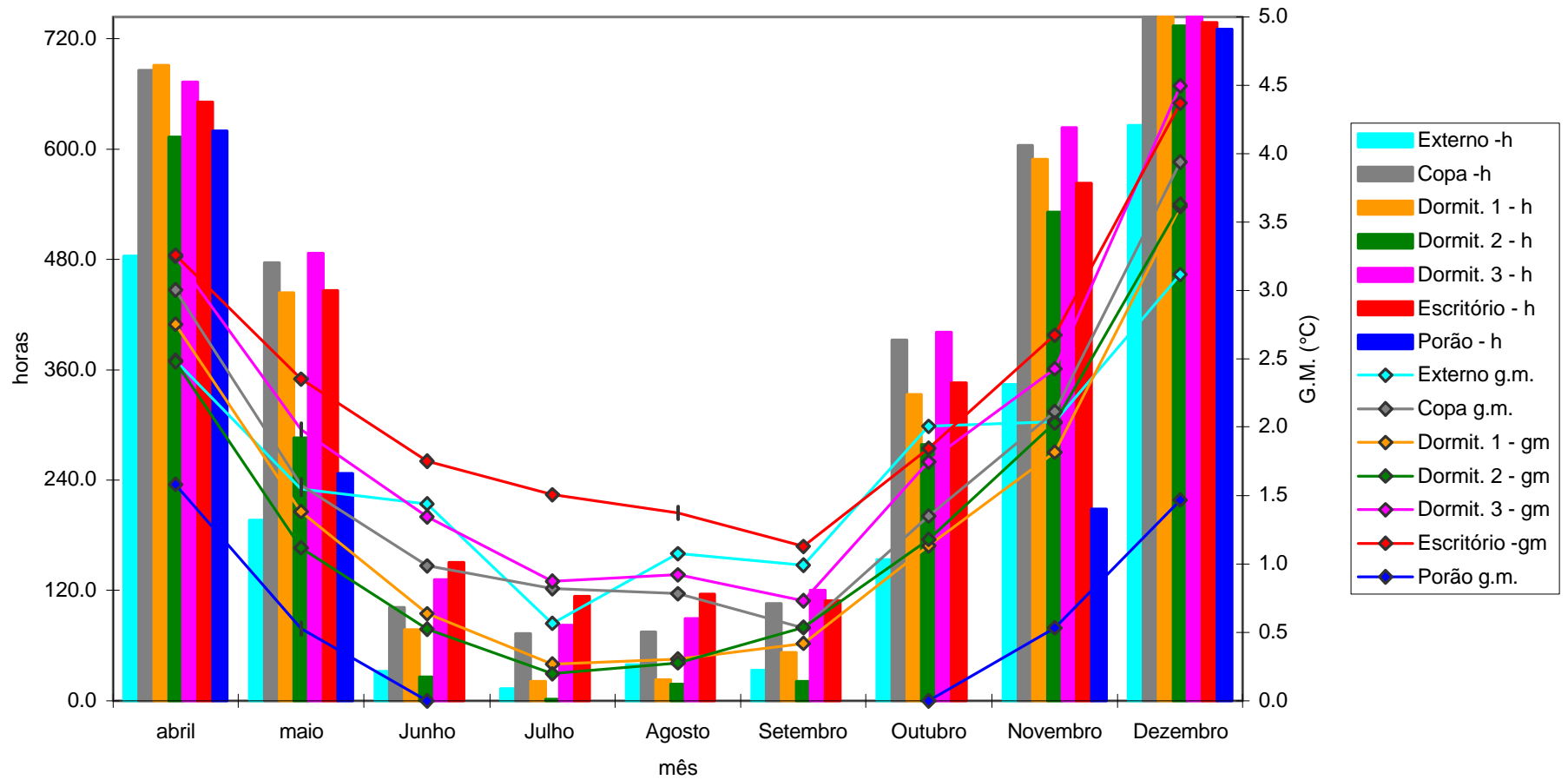


Figura 4.63 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio acima da base de 21°C - Residência 3.

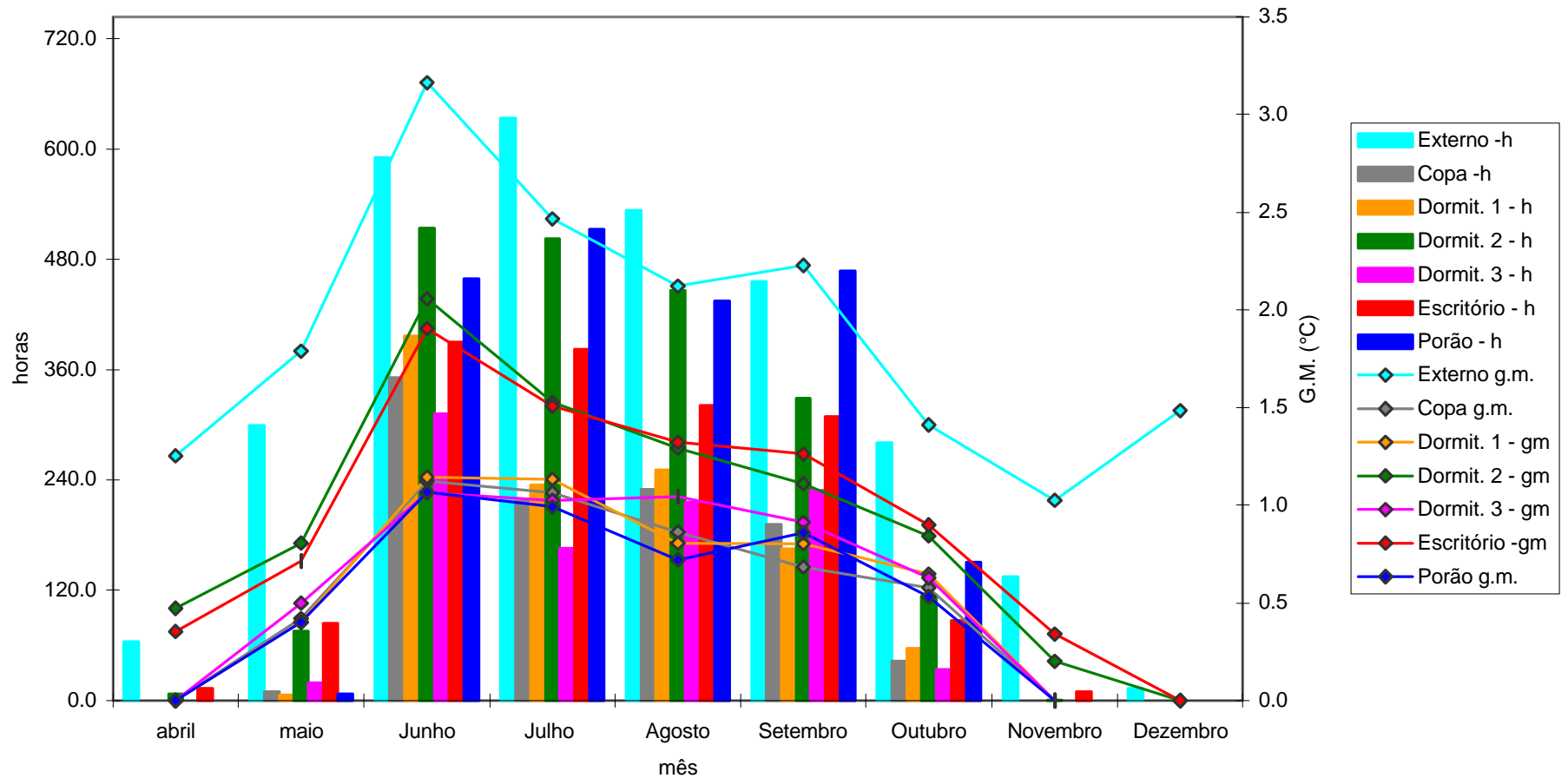


Figura 4.64 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 19°C - Residência 3.

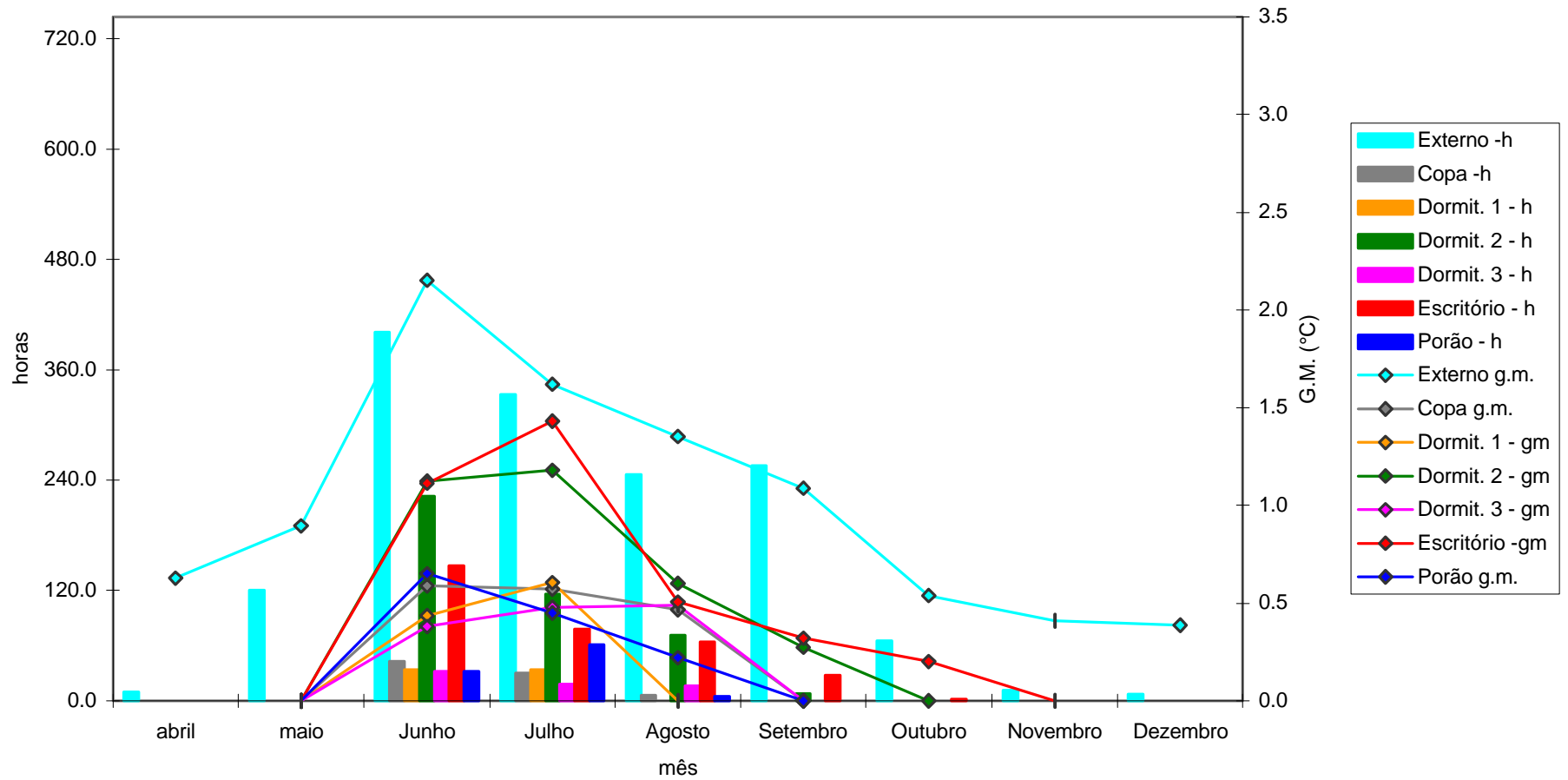


Figura 4.65 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 17°C - Residência 3.

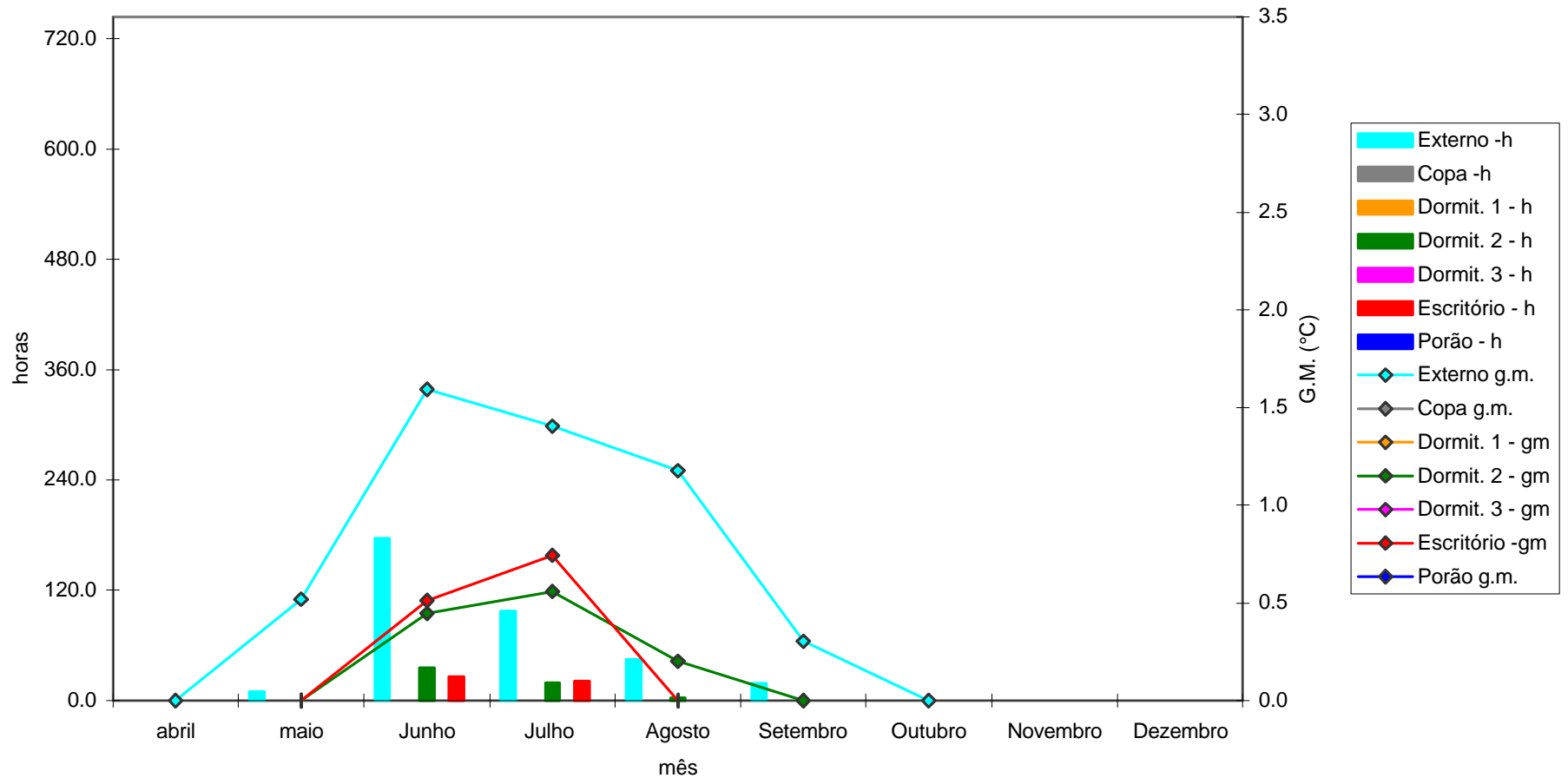


Figura 4.66 Distribuição mensal de quantidade de horas e grau médio abaixo da base de 15°C - Residência 3.

Esta edificação parece não amortecer os picos de temperatura externa. Pois nas bases de 29°C, 27°C e 25°C a maior parte dos ambientes internos apresentaram horas com temperatura interna superiores a externa, acima das bases analisadas.

As figuras 4.59 a 4.61 referem-se à análise de temperaturas abaixo das bases de 19°C a 15°C. Por estes gráficos é visível que o exterior apresentou grau médio e horas com temperatura acima das bases analisadas superiores aos ambientes internos.

Os ambientes do dormitório 2 e Escritório apresentaram o pior desempenho térmico no período frio, pois apresentaram horas com temperatura abaixo de 15°C, e em todas as bases inferiores a 19°C apresentaram o maior grau médio.

No mês de setembro, na base de 19°C, o porão chegou a superar as horas acima desta base em relação ao ambiente externo. Mas seu grau médio foi inferior ao externo. O porão apresentou nos meses mais frios, junho a setembro, uma grande quantidade de horas com temperatura acima da base de 19°C, mas com um grau médio pequeno.

A Copa, o Dormitório 1 e o Dormitório 3 apresentaram o melhor desempenho térmico nesse período frio. O porão apesar de não ser habitado, e conseqüentemente não ter ganhos de calor interno, também apresentou poucas horas com temperatura abaixo da base de 17°C e grau médio pequeno.

4.2.3.6 Carta Bioclimática

A tabela abaixo mostra o resultado do relatório de saída do software Analysis com a recomendação das principais estratégias para alcançar o conforto. Os dados de entrada foram as temperaturas medidas em cada ambiente da edificação e os dados de Umidade Relativa medidos pelo Labsolar - UFSC.

O conforto interno foi superior ao externo, variando de 30.2% a 35.9%. Em todos os ambientes o desconforto por frio externo foi percentualmente reduzido, enquanto o desconforto por calor que estava em 27% passou para valores acima de 33%, com exceção do porão que foi 27.8%.

Tabela 4.3 - Resultado do relatório do Analysis por ambiente Residência 3

	Conforto (%)	Desconforto (%)		Calor (%)				Frio (%)			Sombreamento (%)	
		Frio	Calor	Ventilação	Massa p/ resfriamento	Resfr. Evaporativo	Ar condicionado	M. térmica /aquec.solar	Aquec. Solar (%) passivo	Aquec. artificial		Umidificação
externo	27.9	45.4	26.8	24.1	1.24	1.17	2.65	40.5	4.41	0.5	0	47.1
copa	35.9	22.3	41.8									
Dorm.1	34.9	24.7	40.4									
Dorm. 2	30.2	36.4	33.4									
Dorm. 3	34.9	22.9	42.2									
escritório	32.8	28.9	38.3									
porão	32.6	39.7	27.8									
Média	33.6	29.2	37.3									
D.Padrão	2.09	7.34	5.66									

4.2.4 Casa 4

4.2.4.1 Distribuição de TBS

As figuras 4.63 e 4.64 mostram a distribuição de temperatura dos ambientes internos, temperatura externa medidos na casa 4, e temperatura de bulbo seco e radiação medidos no Labsolar, em dez dias de cada um dos dois meses em que foi feita as medições nesta edificação.

Existe diferenças nas medições de temperatura de bulbo seco feitas in loco e nas feitas pelo Labsolar - UFSC.

A variação térmica externa é percebida nesta edificação, mas as temperaturas máximas e mínimas são amortecidas. A entrada de frentes frias ou o aumento da temperatura externa, faz com que a temperatura interna siga de perto a tendência externa. As temperaturas mínimas externas são melhor amortecidas do que as máximas externas, devido ao ganho térmico pela radiação. Quando a temperatura máxima externa chega a 20°C, a temperatura interna acompanha a externa.

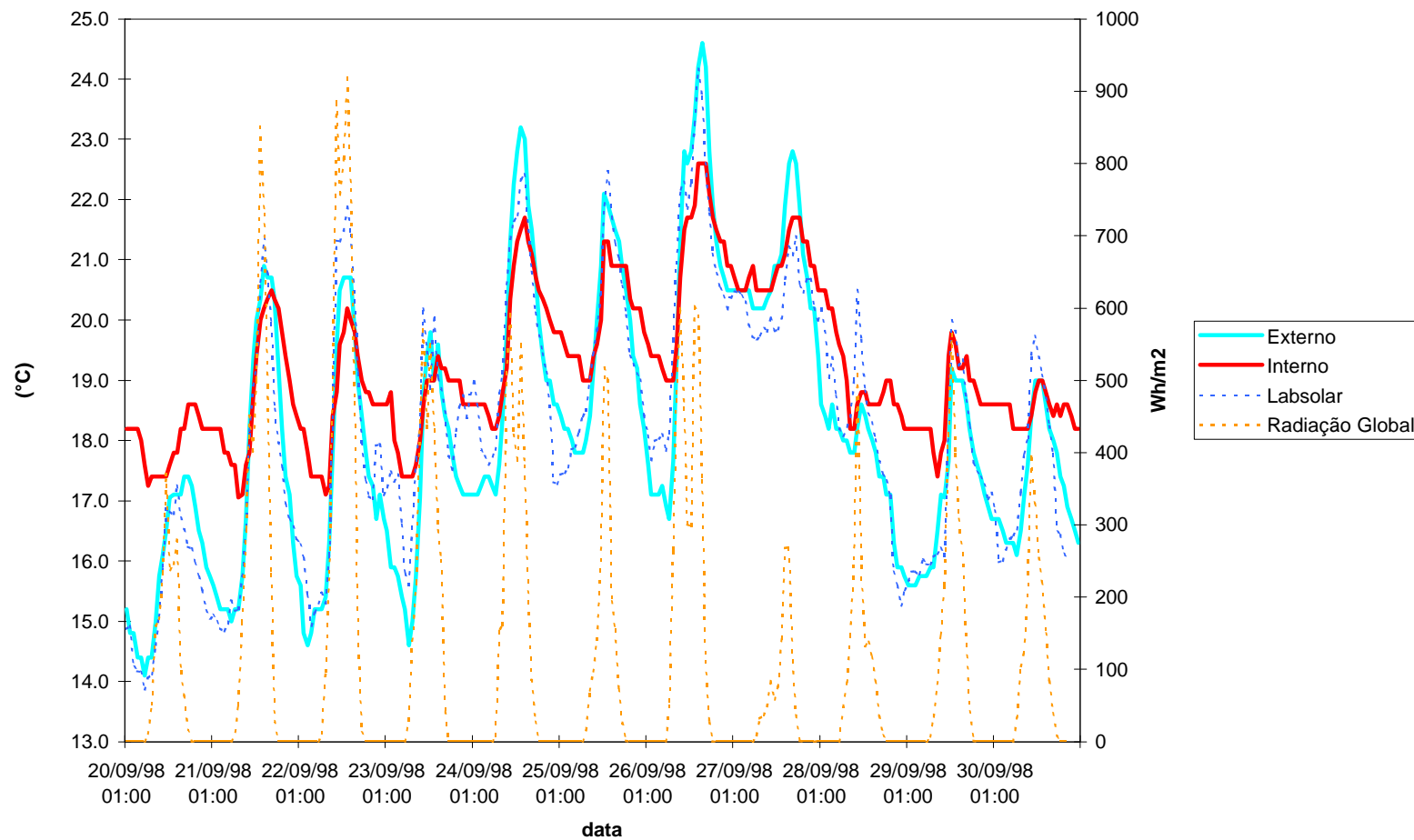


Figura 4.67 Distribuição de TBS e Radiação Global Casa 4 – período 20.09.1998 a 30.09.1998.

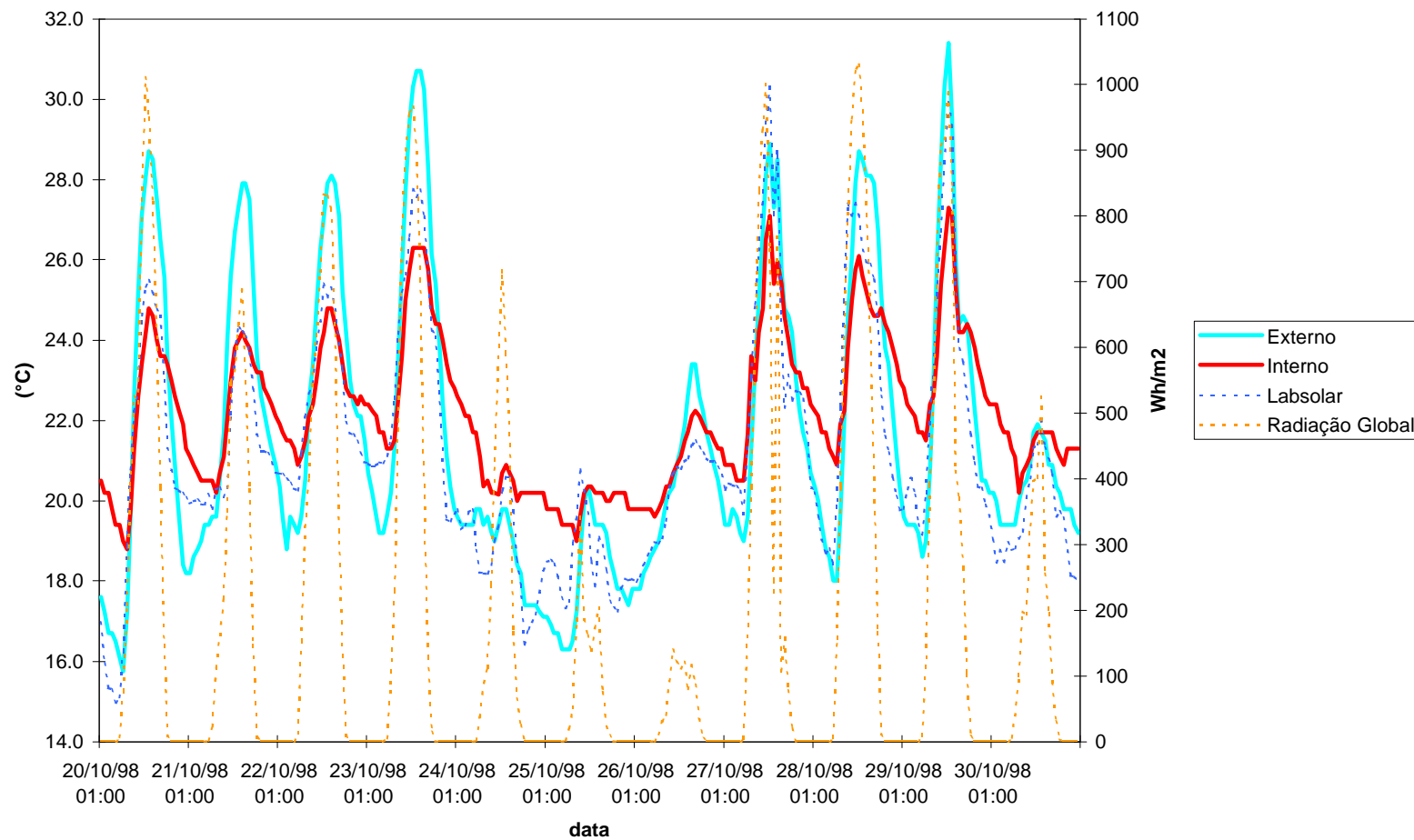


Figura 4.68 Distribuição de TBS e Radiação Global Casa 4 – período 20.10.1998 a 30.10.1998.

4.2.4.2 Distribuição de Amplitudes

As figuras 4.65 e 4.66 demonstram a distribuição de amplitude do ambiente interno e temperatura externa medida na edificação em dez dias de cada um dos dois meses em que foi feita as medições nesta edificação.

Em geral, quando as amplitudes externas ficam em torno de 6 K a amplitude interna chega ao máximo de 3.5 K. Para amplitudes externas de 10 K as amplitudes internas chegam a no máximo 6 K.

4.2.4.3 Amortecimento Térmico

As figuras 4.67 e 4.68 demonstram o amortecimento térmico do ambiente interno da edificação em dez dias de cada um dos dois meses em que foi feita as medições nesta edificação.

O amortecimento inferior nesta edificação mostrou melhor desempenho do que o amortecimento superior. O amortecimento desta edificação ficou entre 0.4 e 0.7.

Esta edificação mostrou ter um ótimo amortecimento térmico.

4.2.4.4 Atraso Térmico

As figuras 4.69 e 4.70 demonstram o atraso térmico do ambiente interno da edificação em dez dias de cada um dos dois meses em que foi feita as medições nesta edificação.

O atraso térmico da edificação predomina em 1 ou nenhuma hora. Em alguns dias o atraso térmico apresenta valores maiores, provavelmente por alguma ocupação tardia.

4.2.4.5 Somatório de Graus Hora

As figuras 4.71 e 4.72 mostram nos meses de setembro e outubro as bases nas quais aparecem grau médio e horas com temperatura acima das bases analisadas.

Esta edificação apresentou as horas internas acima das bases analisadas sempre abaixo das horas externas, exceto no mês de outubro na base de 21°C. O grau médio interno sempre foi inferior ao grau médio externo em todas as bases e nos dois meses analisados.

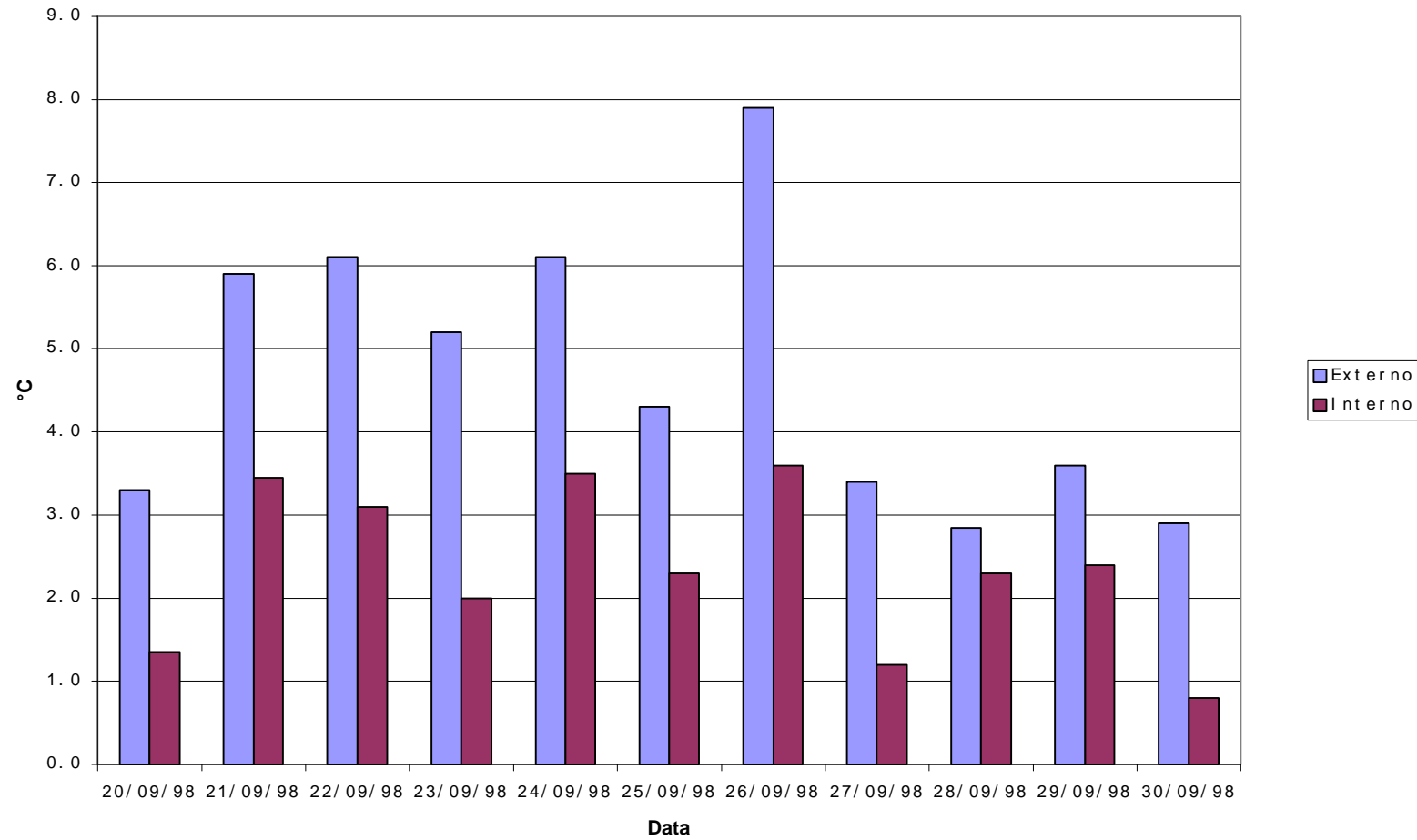


Figura 4.69 Distribuição de Amplitudes Casa 4 – período 20.09.1998 a 30.09.1998.

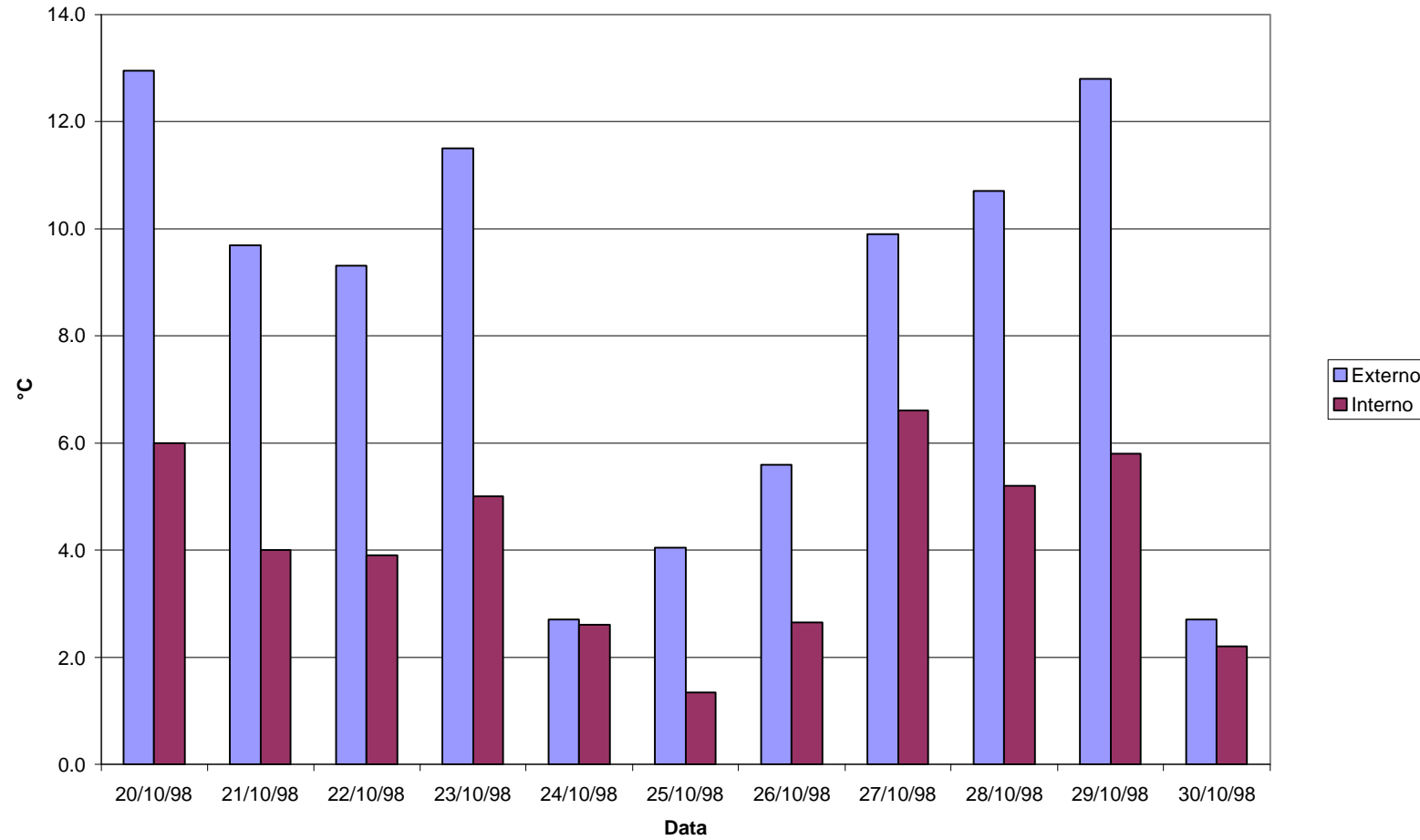


Figura 4.70 Distribuição de Amplitudes Casa 4 – período 20.10.1998 a 30.10.1998.

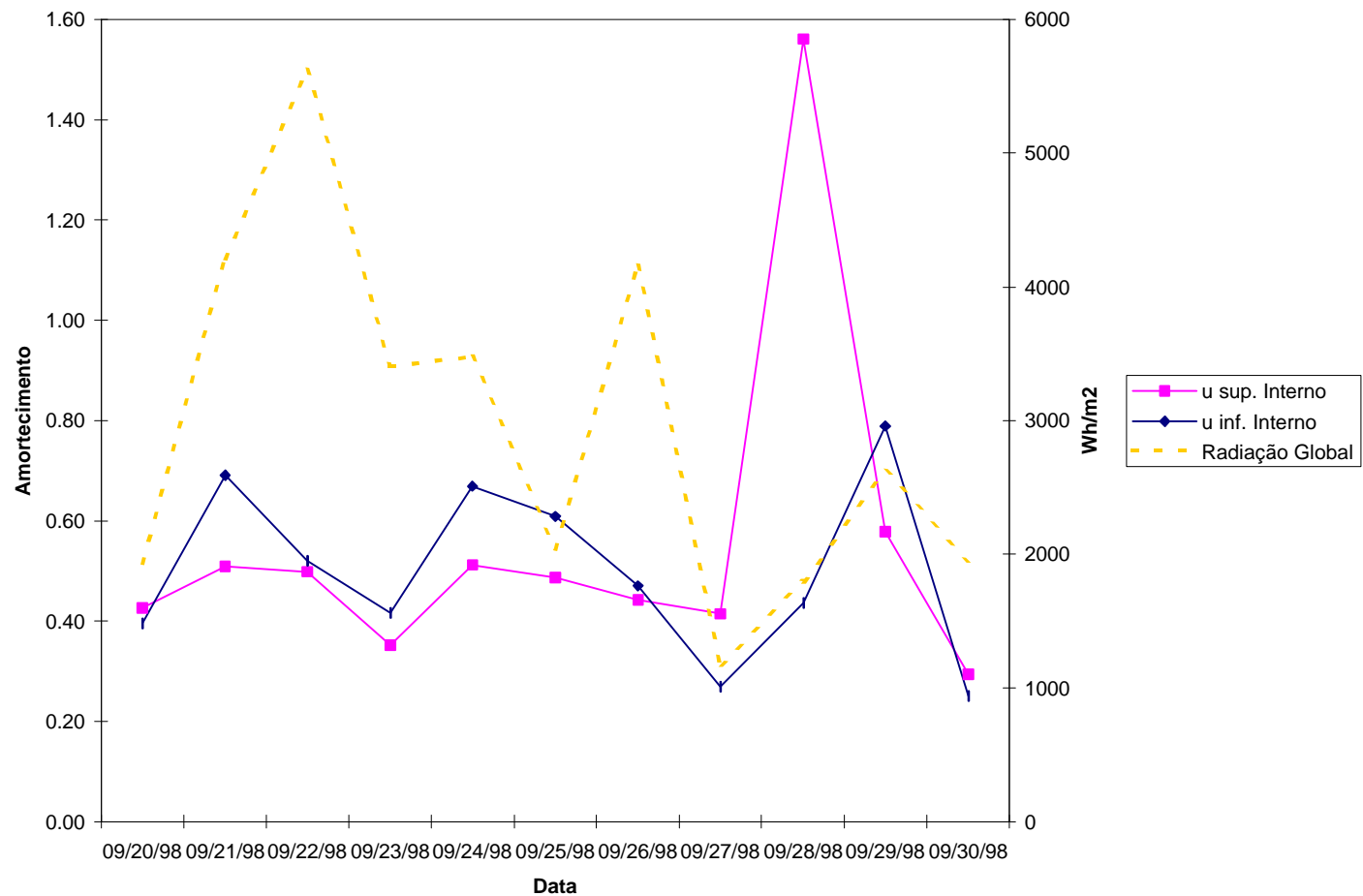


Figura 4.71 Distribuição de Amortecimento Térmico Casa 4 – período 20.09.1998 a 30.09.1998.

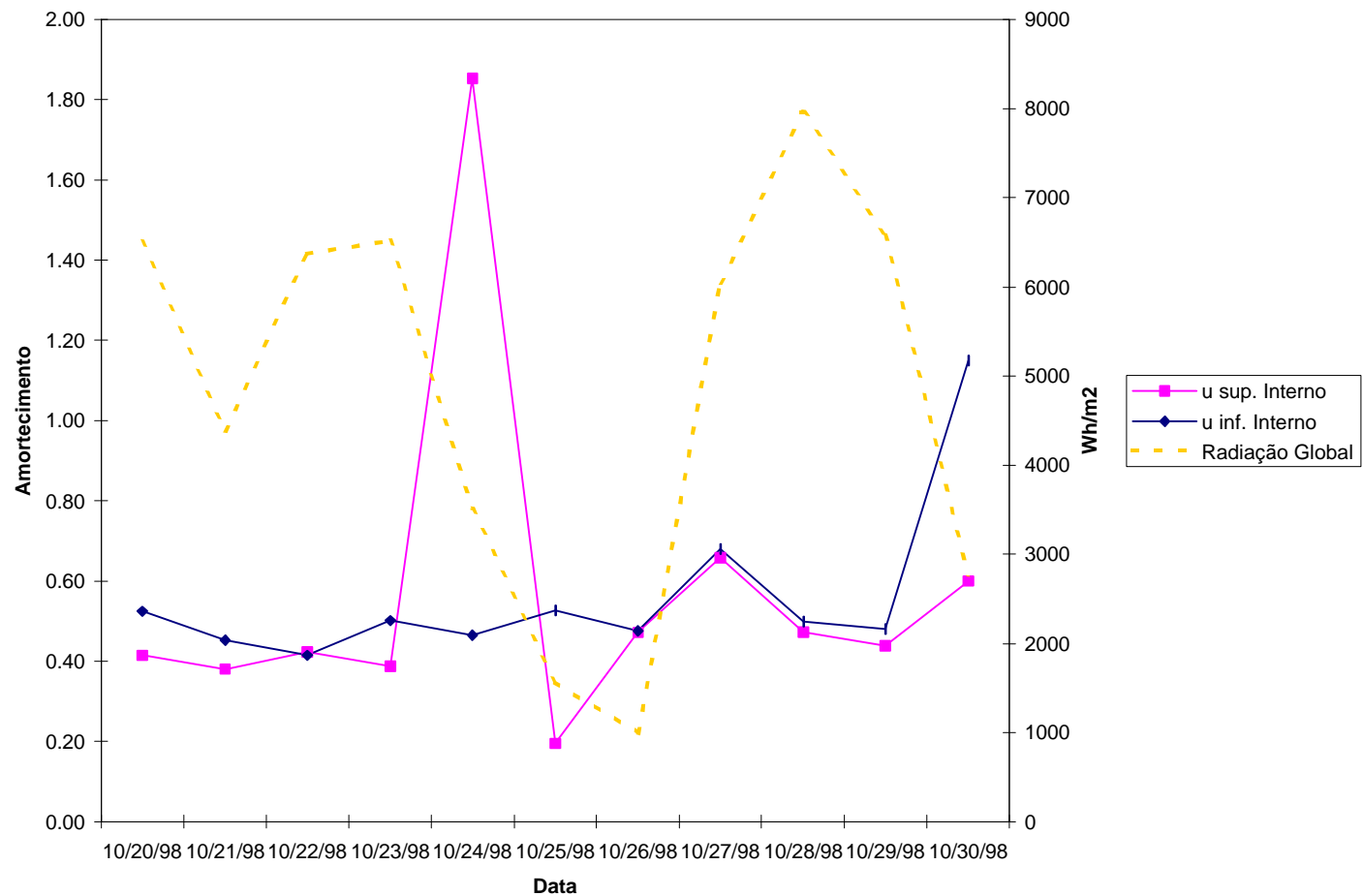


Figura 4.72 Distribuição de Amortecimento Térmico Casa 4 – período 20.10.1998 a 30.10.1998.

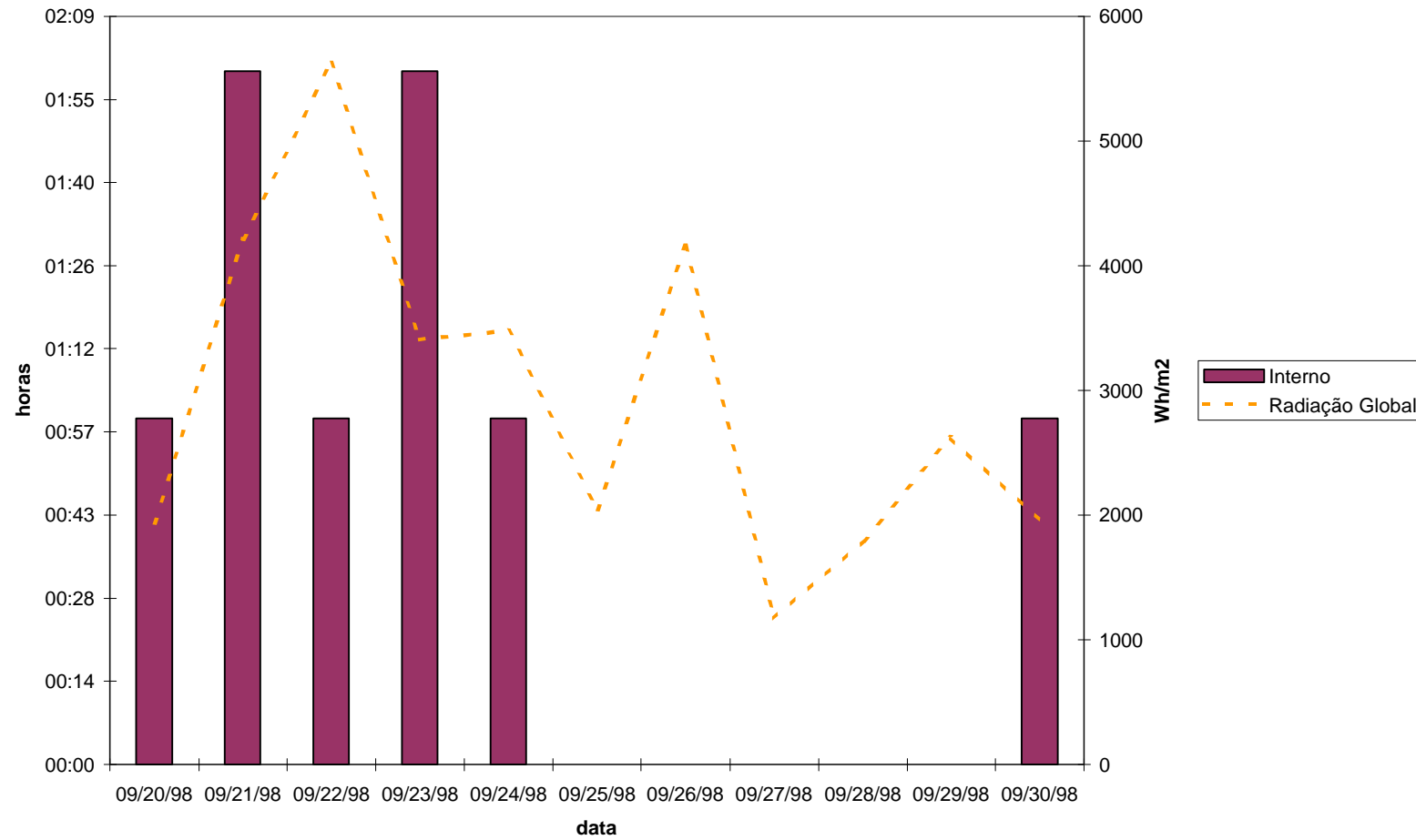


Figura 4.73 Distribuição de Atraso Térmico Casa 4 – período 20.09.1998 a 30.09.1998.

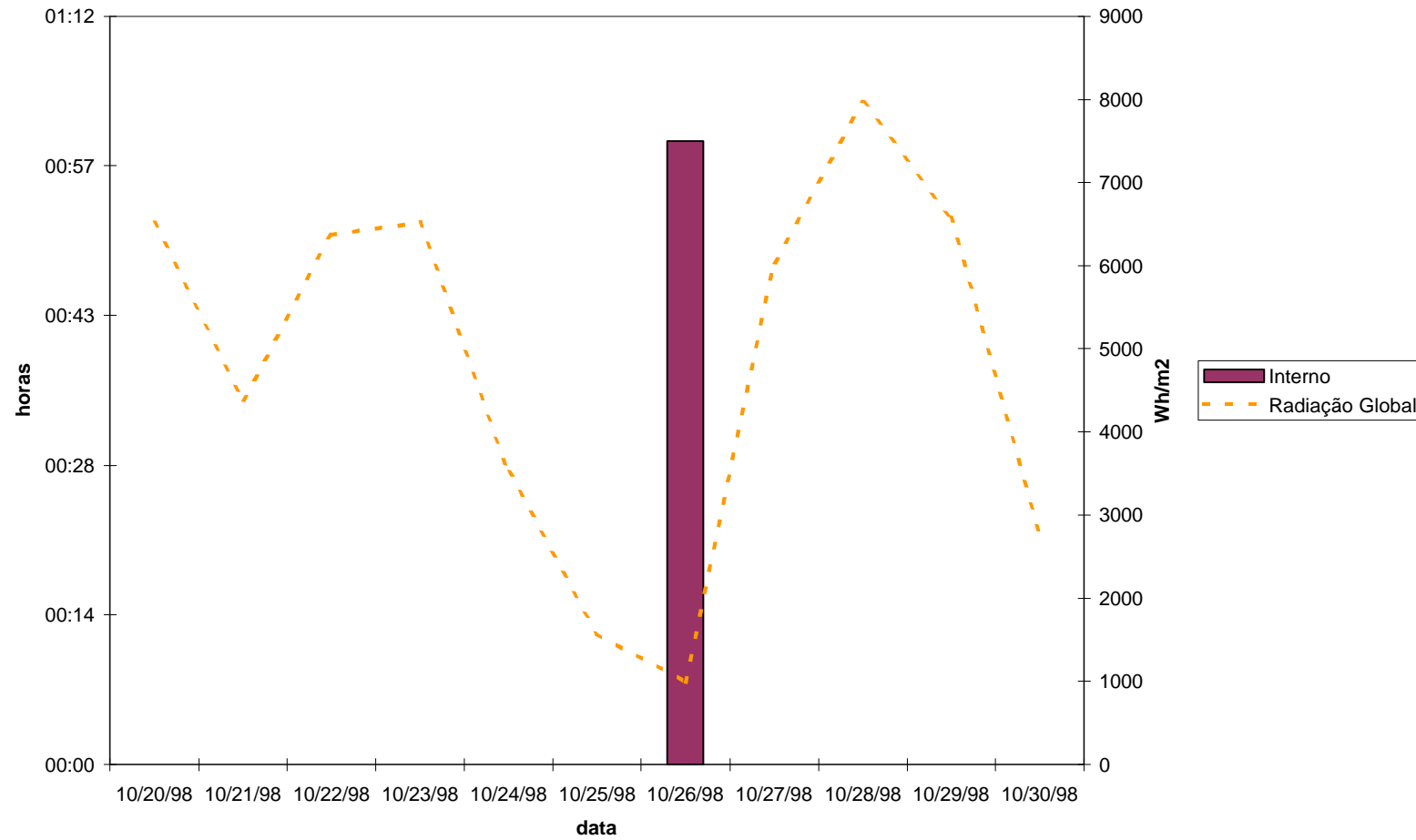


Figura 4.74 Distribuição de Atraso Térmico Casa 4 – período 20.10.1998 a 30.10.1998.

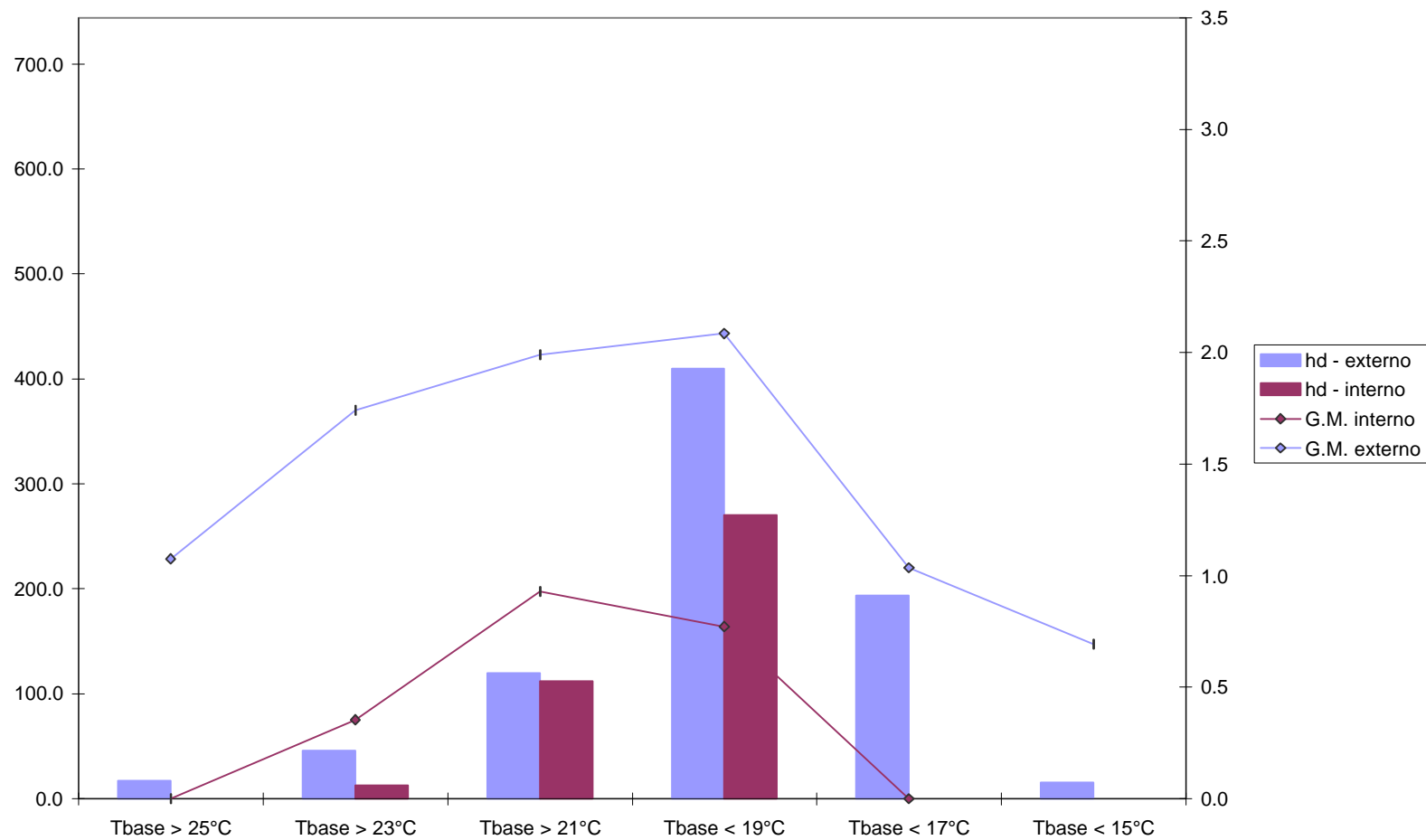


Figura 4.75 Distribuição quantidade de horas e grau médio no mês de setembro nas bases de 25°C a 15°C - Casa 4.

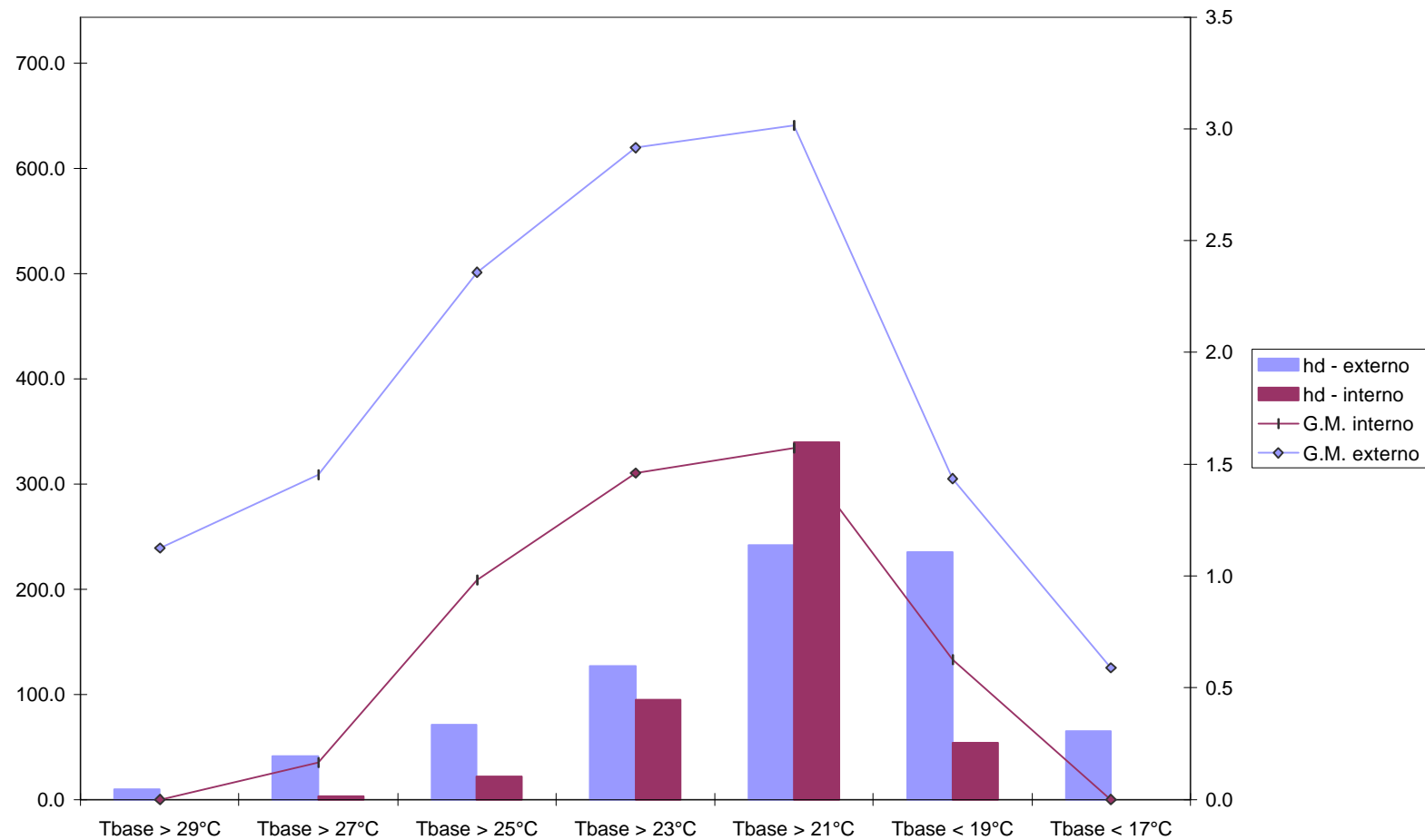


Figura 4.76 Distribuição quantidade de horas e grau médio no mês de outubro nas bases de 29°C a 17°C - Casa 4.

4.2.4.6 Carta Bioclimática

A tabela abaixo mostra o resultado do relatório de saída do software Analysis com a recomendação das principais estratégias para alcançar o conforto. Os dados de entrada foram as temperaturas medidas em cada ambiente da edificação e os dados de Umidade Relativa medidos pelo Labsolar - UFSC.

Tabela 4.4 - Resultado do relatório do Analysis por ambiente Casa 4

	Conforto (%)	Desconforto (%)		Calor (%)				Frio (%)				Sombreamento (%)
		Frio	Calor	Ventilação	Massa p/ resfriamento	Resfr. Evaporativo	Ar condicionado	M. térmica /aquec.solar	Aquec. Solar Passivo	Aquec. artificial	Umificação	
externo	30.3	51.9	17.8	17.4	0.41	0.41	0.41	51.5	0.34	0	0	37.9
interno	34.7	30.1	35.1									

O conforto interno foi superior ao externo. O desconforto por frio externo foi percentualmente reduzido, enquanto o desconforto por calor que estava em 17% passou 35%.

5 Análise dos dados

5.1 Propriedades Térmicas das edificações

Algumas correlações são obtidas pela análise das propriedades térmicas e taxas das envoltórias das edificações que se encontram na tabela 3.1.

Apesar das quatro edificações apresentarem valores próximos da taxa de área fechada pelo volume da edificação, em torno de 0.35, as residências 1 e 2 caracterizam-se por ter menor área de uso fechada abaixo da cobertura. Isto possibilita um menor ganho/perda de calor do ambiente interno pela cobertura nas residências 1 e 2.

A casa 4 apesar de apresentar a maior relação de área de cobertura pela área de envoltória, é a edificação que possui a menor transmitância térmica pela cobertura. E o atraso térmico pela cobertura é o maior das quatro edificações objeto de estudo, chegando a quase 5 horas. A capacidade térmica da cobertura da casa 4 só é menor ao da residência 1 que possui laje.

A residência 1 tem a menor taxa de área de cobertura pela área da envoltória, totalizado numa taxa de 0.30. Sua capacidade térmica é superior às outras edificações ($113 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$) mas tem o maior valor de “U” ($1.92 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), e seu atraso térmico fica em 3.6 horas. As residências 2 e 3 tem as mesmas características em suas coberturas com relação ao valor de “U” ($1.11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), com capacidade térmica de $32 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ e atraso térmico de 2 horas. Mas a taxa da área de cobertura pela área da envoltória é menor na residência 2 (0.33), do que na residência 3 (0.41).

A residência 3 é a edificação que mais possui aberturas por área de fechamento lateral e por área de uso fechada, valores de 31.6% e 39.7% respectivamente. Sendo que a maior parte da área de suas aberturas são de vidro. A casa 4 apresentou a menor taxa de aberturas por área de envoltória e por área de uso fechada, valores de 11.6% e 15.1% respectivamente. A residência 1 apresentou para ambas as taxas valores próximos a 19%, enquanto a residência 2 apresentou as duas taxas com valores próximos a 27%.

As residências 1 e 2, que possuem os menores valores de taxas de aberturas por envoltória, também são as edificações que possuem a maior capacidade térmica e o maior atraso térmico pelas paredes. Com relação à transmitância térmica das paredes, a residência

1 e 2, e a casa 4 apresentam valores próximos a $1.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, enquanto a residência 3 apresentou valor de “U” de $3.49 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Segundo YANNAS e MALDONADO (1995) a efusividade por ser uma propriedade da superfície, caracteriza a capacidade térmica efetiva melhor que outras propriedades. Nas tabelas 3.2 a 3.5 apresentadas no capítulo da Metodologia, foi feita uma média ponderada das superfícies de cada ambiente em cada edificação. Percebe-se pelos dados das tabelas que os ambientes da residência 3 tem mais facilidade de absorver o calor interno. A residência 1 apresenta o sótão como ambiente com menor valor de efusividade térmica média, mas excluindo este ambiente, torna-se a segunda edificação com maior valor de efusividade térmica média. A residência 2 fica em terceiro lugar se excluir a garagem, que apresentou uma efusividade térmica média alta. A casa 4 apresentou um valor de efusividade térmica média que é a metade da maioria dos ambientes das outras edificações.

Os valores de efusividade ponderada pela área de superfície descrevem os ambientes, enquanto os valores de capacidade térmica da tabela 3.1 referem-se a envoltória.

Comparando-se a capacidade térmica efetiva com a capacidade térmica das paredes e da cobertura de cada residência, percebe-se que não há correlação entre as edificações com maior efusividade e àquelas que apresentam maior capacidade térmica na envoltória. A residência 3 apresentou a melhor efusividade dos ambientes internos, enquanto a residência com maior capacidade térmica é a residência 1. A casa 4 foi a única que apresentou a menor capacidade térmica e o menor valor de efusividade térmica.

5.2 Carta Bioclimática de Givoni

A comparação entre as temperaturas externas e as temperaturas internas plotadas sobre a Carta Bioclimática de Givoni, serão feitas entre as edificações, e entre seus ambientes internos. Na tabela 5.1 são apresentados os resultados do ambiente externo no período de abril a dezembro, para comparar com os resultados médios das residências 1, 2 e 3. O ambiente externo no período de setembro e outubro é mostrado para comparar com a Casa 4.

Para o período de abril a dezembro plotado sobre a carta, 27.9% do tempo do lado externo estava em conforto. O maior desconforto no período foi por frio, 45.4%, enquanto

por calor foi de 26.8%. O maior índice de desconforto por frio pode ser devido as medições não contemplarem os meses de janeiro a março.

Todos as edificações apresentaram o período de conforto interno maior do que o período externo. O ambiente com menor aumento de horas de conforto foi o sótão da residência 1 com 28.6%, enquanto o ambiente com maior quantidade de horas de conforto foi a cozinha da residência 2, com 37.6%. A residência 2, que apresenta inércia térmica nas suas paredes, e barreira radiante na cobertura, apresentou o maior índice médio de horas de conforto, e o menor desvio padrão. O desconforto por frio na residência 2 foi bastante minimizado devido a sua inércia térmica, apresentando como um todo, os menores índices de desconforto por frio. A média do desconforto por calor da residência 2 além de ser superior a externa, foi superior a das outras edificações.

Tabela 5.1 Média e Desvio Padrão dos Resultado do relatório do Analysis por edificação

Edificação		Conforto(%)	Desconforto Frio(%)	Desconforto Calor(%)
Externo abril a dezembro		27.9	45.4	26.8
Residência 1	Média	28.7	25.0	41.6
	Desvio Padrão	12.6	11.6	9.6
Residência 2	Média	35.9	19.3	44.8
	Desvio Padrão	1.42	5.22	3.88
Residência 3	Média	33.6	29.2	37.3
	Desvio Padrão	2.09	7.34	5.66
Externo setembro e outubro		30.3	51.9	17.8
Casa 4	interno	34.7	30.1	35.1

A residência 1 que também possui inércia térmica nas paredes, e cobertura de telha de barro sobre laje, apresentou mais horas de conforto do que o ambiente externo. O sótão desta residência apresentou o menor aumento nas horas de conforto devido ao fato de estar logo abaixo da cobertura não possuindo laje no forro. O desconforto por frio externo foi minimizado pela edificação, mas o desconforto por calor aumentou. Seu índice de desconforto por calor na cozinha foi de quase 61%, mas na média dos ambientes apresentou índices de desconforto por calor, inferiores ao da residência 2.

A residência 3, que apresenta barreira radiante na cobertura, mas paredes de alvenaria simples, também apresentou a porcentagem de horas de conforto interno maior do que o externo. O desconforto por frio só foi maior do que o desconforto por calor nos

ambientes do dormitório 2 e do porão. Mas a média do desconforto por frio interno foi menor do que o externo. A média do desconforto por calor interno foi maior que a porcentagem de desconforto por calor externo, e menor que o desconforto por calor da residência 2.

Segundo a carta bioclimática, o limite de conforto é conseguido com uma umidade relativa máxima de 80%, e temperaturas entre 18°C e 29°C. Numa análise geral, a porcentagem de desconforto por frio externo foi maior devido ao fato da temperatura noturna, que mesmo nos períodos quentes, apresenta valores inferiores a 18°C.

Os ambientes internos normalmente amortecem bem as temperaturas mínimas diárias, seja pela sua envoltória, seja pelos ganhos de calor internos. Desta forma, apresentam temperaturas internas acima dos 20°C, com umidade relativa alta, recaindo assim, num maior desconforto por calor, e necessitando de ventilação, devido a umidade relativa estar acima dos 80%.

A residência 2 por apresentar maior inércia térmica em seu fechamento lateral, tende a não apresentar temperaturas internas muito baixas, mesmo nos períodos mais frios. Por este motivo, seu desconforto por calor é maior.

As residências 1 e 3 apresentaram índices maiores de desconforto por frio e menores por calor do que a residência 2. Mas nas duas residências o desconforto por calor foi maior do que por frio. Para as residências 1 e 3 serve a mesma explicação das temperaturas externas mínimas serem amortecidas, e por terem umidade relativa alta caem na zona de desconforto por calor, onde é necessária a ventilação.

A figura 5.1 apresenta a distribuição de freqüências dos dados de TBS do dormitório de cada uma das 3 residências monitoradas de abril a dezembro. Pela figura 5.1 percebe-se 87% da temperatura do dormitório da residência 2 entre 18°C e 25°C, enquanto os dormitórios das residências 1 e 3 apresentam temperaturas numa faixa com temperaturas mais baixas, de 17°C a 26°C, com 89% e 86% respectivamente. Apesar das temperaturas da residência 2 apresentarem mais na faixa de conforto, os dados de umidade relativa altos tendem a colocá-los numa faixa de desconforto por calor. Já os ambientes das residências 1 e 3 por apresentarem parte de sua faixa de temperaturas abaixo de 19°C, recaem na zona de desconforto por frio, diminuindo a porcentagem de horas com desconforto por calor.

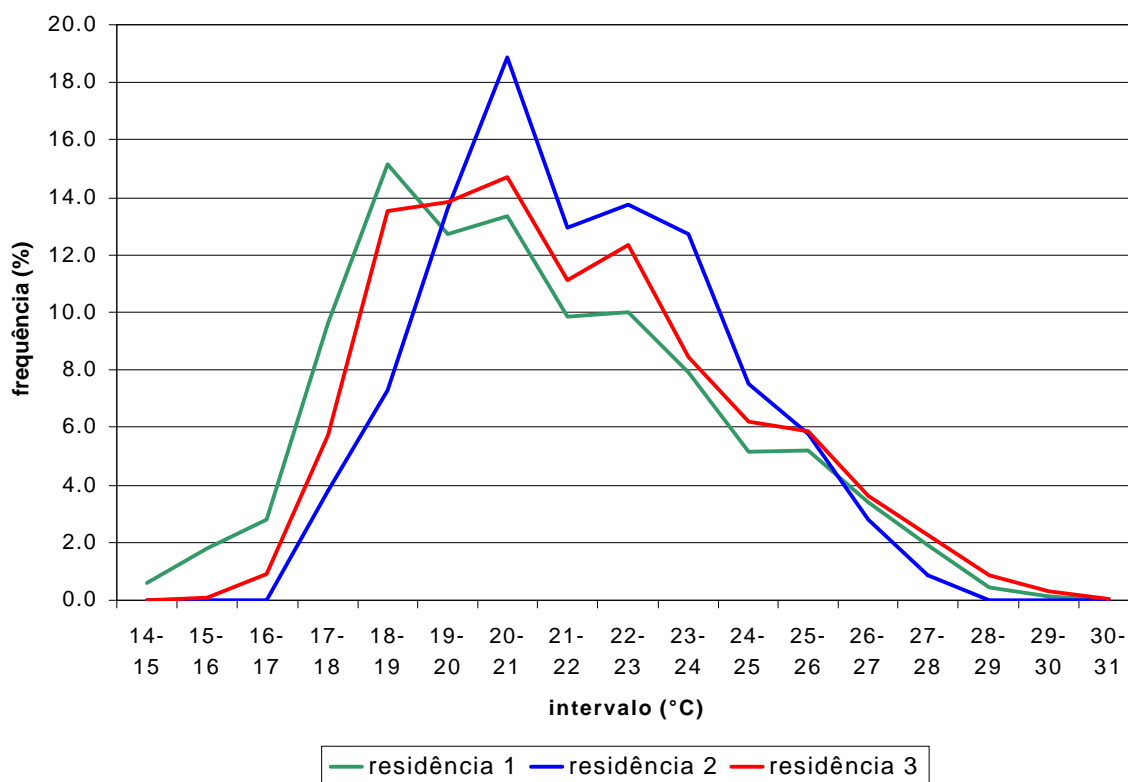


Fig. 5.1. Frequência de Temperaturas nos Dormitórios das Residências 1, 2 e 3 no período de abril a dezembro de 1998.

Para a análise da Casa 4, os meses de setembro e outubro apresentaram 30.3% do período situação de conforto no lado externo. A Casa 4, que tem funcionamento comercial, aumentou para 34.7% o tempo de conforto interno. O desconforto por frio externo foi minimizado. Apesar de minimizar os ganhos de calor pela cobertura, o desconforto por calor externo foi duplicado no ambiente interno. Esta edificação teve um pequeno aumento proporcional no período de conforto externo se comparado as outras edificações.

5.3 Medições in loco

A primeira análise refere-se as residências 1, 2 e 3, pois para estas edificações o período de medições foi o mesmo, de abril a dezembro. A análise da casa 4 será feita em separado pois suas medições referem-se exclusivamente aos meses de setembro e outubro.

5.3.1 Medições de TBS Residências 1, 2 e 3

Pelos gráficos de distribuição de temperatura durante todo o período das medições, a residência 2 apresentou a menor variação interna. Os ambientes da residência 1, com exceção da cozinha, também amenizaram as temperaturas externas. Já a residência 3, ameniza as mínimas externas mas apresenta temperaturas acima da máxima externa. Alguns ambientes são exceção, o sótão e a cozinha na residência 1, e o porão na residência 3. O sótão na residência 1 é o único ambiente da edificação que está localizado logo abaixo da cobertura. Na residência 1, a câmara de ar que forma entre a laje e o telhado ajuda a minimizar tanto os ganhos quanto as perdas de calor pela cobertura dos ambientes internos (exceto o sótão). A cozinha da residência 1 por possuir sua canalização de água quente passando pelas paredes da cozinha sem isolamento, além dos ganhos de calor pelos equipamentos, faz com que este ambiente mantenha-se com temperaturas acima dos outros ambientes. O porão na residência 3 tem um volume de ar pequeno, e possui a maior área de sua envoltória interna formada por uma rocha, e não recebe ganho de calor pela radiação solar. Todos estes fatores fazem com que este ambiente tenha uma pequena variação térmica durante todos os períodos do ano, e funcione como um regulador de temperatura dos ambientes contíguos a ele.

Nas residências 1 e 2 as amplitudes externas chegam a 9 K, enquanto as amplitudes internas não superam 4 K. Com exceção do sótão na residência 1, que normalmente apresenta amplitudes acima dos outros ambientes, e do jantar, também da residência 1, que pode receber radiação solar direta no período vespertino se a esquadria de veneziana estiver aberta. Estas duas residências apresentam os maiores valores de capacidade térmica em sua envoltória. A residência 3 apresentou variação quanto às amplitudes nos três períodos distintos. No período frio as amplitudes internas são menores devido ao uso do aquecimento através das lareiras, ou a proximidade com o porão, que possui pouca amplitude interna. As amplitudes internas aumentam com o aumento da temperatura externa. A proximidade com as amplitudes externas desta edificação está relacionada à sua grande área envidraçada. O ambiente dormitório 1 por ter contato com o porão, apresenta amplitudes baixas em todos os períodos.

O amortecimento térmico demonstra a capacidade da edificação em amenizar as máximas e mínimas temperaturas diárias. O amortecimento da residência 1 mostrou-se

melhor para diminuir as máximas temperaturas externas do que as mínimas. Nos períodos com menor radiação o amortecimento da edificação é mais efetivo devido ao pouco ganho térmico advindo da radiação solar para aumentar as temperaturas internas. O amortecimento máximo desta edificação, tirando-se os extremos, fica em 0.5, o que significa um amortecimento mínimo de 50% da temperatura externa. O amortecimento da residência 2 chega ao máximo de 0.6 no período quente, e no máximo a 0.3 nos períodos ameno e frio. O ganho térmico advindo da radiação solar diminui a capacidade de amortecimento térmico desta edificação.

A residência 3 com menor capacidade térmica apresenta um amortecimento térmico bastante variado, por ambiente e por período do ano. O melhor índice de amortecimento foi o do porão, com seu contato direto com a pedra, e sem receber radiação solar, apresentou índice de amortecimento variando em torno de 0.1. Os ambientes que ficam logo abaixo da cobertura e tem orientação oeste, o escritório e o dormitório 3, apresentam o pior desempenho de amortecimento térmico. Isto porque suas amplitudes de temperatura interna são superiores a externa, fazendo com que no cálculo de amortecimento térmico o numerador seja muito superior ao denominador.

O atraso térmico na residência 3 fica entre 1 e 2 horas no período ameno e frio, e entre 1 a 3 horas no período quente. O atraso térmico no período quente se deve ao fato do ganho de radiação solar, e o maior índice de área de esquadrias por área de fachada, tem orientação oeste, sendo que o ganho térmico da radiação solar aumenta no período vespertino, apesar das temperaturas externas começarem a diminuir. No cálculo das propriedades térmicas da edificação, as paredes desta edificação mostraram valores de atraso térmico de 3.2 horas, e a cobertura de 2 horas para período de verão. E isto foi o que predominou nesta edificação durante o período das medições.

A residência 1 no cálculo das propriedades térmicas da edificação apresentou valores de atraso térmico na sua parede dupla de 6.3 horas. Os ambientes com cobertura e laje tem um atraso térmico calculado de 3.6 horas, e nos ambientes sem laje este valor passa para 1.3 horas. A cozinha apresenta atrasos térmicos em alguns dias superiores a 9 horas. Mas isto se deve ao fato da passagem de água quente pelo sistema de aquecimento de água que passa por suas paredes ocorrer principalmente no período noturno. O atraso térmico do sótão fica entre 1 e 3 horas, dentro do atraso térmico calculado. Grandes valores de atraso

térmico também ocorreram, e são devidos a dois motivos prováveis: I) a máxima temperatura externa ocorreu durante a madrugada, enquanto a máxima interna ocorreu durante o dia, II) houve ocupação deste ambiente no período noturno. O dormitório apresentou atraso térmico maior nos dias com radiação alta e temperatura externa alta, de 5 a 7 horas, e nos dias sem radiação e temperatura externa baixa, o atraso térmico é pequeno de 0 a 4 horas. O fato do atraso térmico estar relacionado com dias de radiação global alta é devido principalmente às suas orientações noroeste e sudoeste receberem ganho térmico solar no período vespertino e a sua capacidade térmica externa, que só vai transmitir a carga térmica mais tardiamente ao ambiente. Suas paredes apresentam atraso térmico calculado de 6.3 horas, o que corresponde ao medido no local. A sala de TV apresenta atrasos térmicos bastante diferenciados, que vão desde 1 hora até 11 horas. O grande valor de atraso térmico na sala de TV deve-se a sua ocupação noturna. E por ser um ambiente que interliga pela escada o estar e jantar ao sótão, permite que o calor dos ambientes inferiores suba para o pavimento superior.

O estar e jantar apesar de apresentar valores de atraso térmico entre 1 e 2 horas, não coincidem entre si. O estar é mais comum não apresentar horas de atraso térmico, provavelmente sua temperatura máxima ocorre antes da máxima externa. Isto devido à sua grande quantidade de aberturas de vidro orientadas ao nascer do sol. Valores de atraso térmico maior ocorrem em fins de semana, ou quando há ocupação noturna destes ambientes. O atraso térmico calculado para as paredes destes ambientes é de 6.3 e 3 horas, mas devido à sua grande quantidade de aberturas, este valor é quase minimizado.

Na residência 2 o cálculo de atraso térmico pelas paredes duplas com câmara de ar e rebocadas internamente perfazem um total de 6.8 horas, e sem reboco de 6.3 horas. Já o atraso térmico pela cobertura é de apenas 2 horas. A garagem apresenta maior incidência de atraso térmico entre 5 e 8 horas, o que coincide com a chegada noturna do trabalho. A cozinha apresenta predominância de atraso térmico entre 1 e 2 horas, provavelmente devido ao ganho térmico advindo da radiação solar de sua iluminação zênital. O jantar, estar e escritório, apesar de interligados, não apresentam nenhuma relação entre si. Mas os três ambientes mostram não ser dependentes da temperatura ou da radiação. O jantar apresenta atrasos de 1 a 6 horas, o que estaria dentro do atraso térmico calculado pelas paredes, visto que não se encontra abaixo da cobertura, possuindo um pavimento acima do mesmo. Já o

estar e o escritório apresentam atrasos térmicos variando de 1 a 10 horas. Grandes valores de atraso térmico se devem a ocupação do ambiente no período noturno, ou porque a máxima temperatura externa ocorreu durante a madrugada.

O dormitório apresenta atrasos térmicos variando de 1 a 9 horas, mas sem nenhuma relação com radiação ou temperatura externa, devendo-se exclusivamente os grandes atrasos térmicos ao ganho de calor devido a sua ocupação noturna, ou a máxima temperatura diária ter ocorrido durante a madrugada.

5.3.2 Medição de TBS Casa 4

Esta edificação apresenta um grau de amortecimento tanto para calor quanto para frio. Mas é bastante visível sua dependência com a temperatura externa. A radiação não parece ter relação com o desempenho térmico, principalmente por sua cobertura e paredes apresentarem valores baixos de “U”, $0.41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para cobertura e $1.80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para as paredes. Alguns dias onde a temperatura interna se aproximou da temperatura externa máxima, se deve não tanto pela radiação alta, mas à uma maior ocupação. Esta edificação serve como estabelecimento comercial, ficando aberta normalmente das 7:30 horas até 22:00 horas. E o ambiente interno onde são feitas as medições possui aberturas onde permitem a ventilação cruzada.

As amplitudes externas são bastante amenizadas pela envoltória, sendo que isto se deve a sua baixa transmitância térmica. E seu amortecimento térmico mostrou-se melhor para amenizar as temperaturas mínimas diárias. Seu melhor desempenho de amortecimento térmico está diretamente ligado a grandes amplitudes externas, pois em amplitudes externas baixas sua amplitude interna fica muito próxima da externa.

A falta de capacidade térmica das paredes, $41 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$, e a constante ventilação do ambiente faz com que o atraso térmico seja em média de 1 hora, apesar do atraso térmico calculado ser de 2.9 horas para a parede e 4.8 horas para a cobertura.

5.4 Somatório de Graus hora

5.4.1 Residência 1

Nenhum ambiente interno desta edificação apresentou horas com temperatura acima ou abaixo da temperatura base analisada se o lado externo não apresentasse horas acima ou abaixo da respectiva base.

A Cozinha e o Sótão são os dois ambientes internos que mais apresentam horas com temperaturas acima das bases acima de 21°C. Nas bases de 21°C e 23°C o grau médio da Cozinha é superior ao do sótão, mas nas bases acima de 25°C o sótão supera o grau médio da cozinha. Isto demonstra que a cozinha apesar de apresentar grande quantidades de horas nas bases de temperaturas acima de 21°C, não apresenta temperaturas muito elevadas. Já o sótão por apresentar um grau médio maior nas bases de temperaturas mais elevadas demonstra que apresenta grandes picos de temperatura.

A cozinha por ter a canalização de água quente sem isolamento, orientação oeste, pequenas aberturas, e ganhos internos de calor, apresenta normalmente mais horas com temperaturas acima das bases analisadas do que os outros ambientes internos. No mês de abril e novembro só a cozinha apresentou todas as horas do mês acima da base de 21°C, sendo que externamente apareceram 39 horas abaixo de 19°C no mês de abril e 68 horas no mês de novembro.

O sótão é o ambiente a primeiro apresentar temperaturas acima da base analisada, e a apresentar a maior quantidade de horas abaixo das bases analisadas. Isto é devido ao fato de estar localizado logo abaixo da cobertura e não possuir a mesma capacidade térmica da cobertura dos outros ambientes internos. O sótão superou no mês de dezembro o grau médio e as horas com temperatura acima da base de 29°C do lado externo, sendo que nos outros meses onde apareceram temperaturas acima dos 29°C os valores do sótão foram inferiores ao externo. Devido ao mês de dezembro ter apresentado o maior valor de radiação média mensal, e o sótão ter normalmente suas aberturas de vidro fechadas durante o dia, fez com que este ambiente superasse os índices externos

Quando a temperatura média mensal externa é superior a 20°C, o valor da temperatura média mensal é o valor da base de temperatura a partir da qual aparecem mais horas de temperaturas internas do que horas externas com temperaturas acima da base

analisada. Para as temperaturas abaixo da base de 19°C, ocorrem uma maior quantidade de horas externamente do que internamente com temperatura abaixo da base em questão. Isto caracteriza o melhor amortecimento para um mês mais frio do que para um mês mais quente. Mas o fato de que internamente não ocorrem temperaturas acima da base analisada se externamente não aparecem, faz com que caracterize esta edificação como um bom amortecimento para temperaturas quentes, e demonstra o pouco ganho térmico advindo da radiação solar.

O estar por possuir grandes aberturas em vidro, e estar orientado a leste, faz com que o mesmo seja um ambiente que apresente mais horas acima de determinada base do que o jantar, ambiente integrado ao mesmo e que possui orientação oeste, mas com esquadria de veneziana.

No mês de dezembro, que a temperatura média mensal foi de 25°C, os ambientes internos (exceto o sótão que apresentou 740 horas) apresentaram as temperaturas internas nas 744 horas do mês acima da base de 21°C.

Esta edificação, apesar das variações que apresentaram seus ambientes internos, apresentou internamente condições de conforto térmico melhor do que o externo.

5.4.2 Residência 2

Nenhum ambiente interno desta edificação apresentou horas com temperatura acima ou abaixo da temperatura base analisada se o lado externo não apresentasse horas acima ou abaixo da respectiva base.

A temperatura base a partir da qual aparecem mais quantidade de horas com temperatura interna acima da base do que a quantidade de horas externa, é normalmente superior ao valor da temperatura média mensal em 1 K a 2 K. Para as temperaturas abaixo da base 19°C ocorrem mais horas com temperatura abaixo internamente do que externamente. Caracterizando o melhor amortecimento para um mês mais frio do que para um mês mais quente. Mas o fato de que internamente não ocorrem temperaturas acima da base analisada se externamente não ocorreu, faz com que caracterize esta edificação como um bom amortecimento para temperaturas quentes, e demonstra o pouco ganho térmico advindo da radiação solar.

No mês de abril, com exceção do escritório e do estar, os ambientes internos apresentaram todas suas temperaturas internas acima da base dos 21°C, apesar de

ocorrerem 24 horas externamente abaixo da base de 19°C. A temperatura média externa no mês de abril foi de 23.1°C. No mês de novembro a temperatura média mensal externa foi de 22°C e só o dormitório apresentou todas as horas do mês temperaturas acima dos 21°C. No mês de dezembro, onde a temperatura média externa foi de 24.4°C todos os ambientes internos apresentaram todas as horas do mês temperaturas acima da base de 21°C. O ambiente da garagem já tinha apresentado todas as horas acima da base de 23°C.

Os ambientes internos desta edificação mantêm uma homogeneidade. A garagem é o ambiente que apresenta alguns picos de horas com temperatura nas bases acima de 21°C. Isto se deve ao ganho de calor advindo do carro.

O Estar é o ambiente que apresenta maior quantidade de horas com temperaturas abaixo das bases inferiores a 19°C. Isto se deve ao seu grande volume e por ser um ambiente de passagem de ar (efeito chaminé), o que leva a resfriar mais rapidamente o ambiente.

Esta edificação, por causa de sua capacidade térmica, acaba mantendo a casa numa temperatura média acima da média mensal, mas evita que apareçam horas com temperatura acima de 29°C, ou abaixo de 15°C.

5.4.3 Residência 3

Os ambientes Dormitório 3 e Escritório, com bases de temperatura acima de 21°C, majoram na grande maioria dos dados, as horas de desconforto, e o grau médio de desconforto da medição externa. Isto demonstra o ganho solar destes dois ambientes, visto que estes dois ambientes encontram-se logo abaixo da cobertura, e o Escritório com orientação leste, norte, e oeste, e o Dormitório 3 orientação oeste e sul. Na análise com bases de temperatura abaixo de 19°C, o Dormitório 3 apresenta valores excelentes de minoração, isto em muito se deve ao uso da lareira nas noites mais frias. O Escritório apesar de possuir lareira, não é normalmente acessa (principalmente na madrugada, quando a temperatura externa tem sua maior queda).

O Dormitório 2 apesar de estar localizado abaixo da cobertura, possui orientação leste e sul, além da proteção topográfica (morro) na face leste. Outra característica que auxilia para que o Dormitório 2 seja o ambiente interno com o maior índice de minoração por calor é sua proximidade com o porão e a rocha, o que permite uma perda de calor para este ambiente. Já com relação ao frio, seus índices não são os melhores, visto que tem

pouco ganho solar, e não há ganhos significativos de calor pelo porão, apenas perda de calor pela cobertura e paredes.

Para as bases de temperatura acima de 21°C, o porão quando apresentava horas de desconforto que eram superiores as horas de desconforto externas, apresentava o grau médio de desconforto abaixo dos valores externos. Isto demonstra que apesar de apresentar mais horas acima da base do que o lado externo, a temperatura permanecia numa faixa homogênea, não apresentando grandes picos.

O porão só começa a mostrar índices de desconforto quando a base de temperatura para análise está até + ou - 1 K da temperatura externa média, tanto para bases para análise de calor quanto de frio, demonstrando sua grande inércia térmica.

O Dormitório 1 só começa a mostrar valores de desconforto por calor nas bases e temperatura que no máximo estejam a 4 K da temperatura média externa. E seu maior aumento percentual nas horas acima de determinada base com relação as horas externas, normalmente ocorre numa base de temperatura com 3 a 4 K acima da temperatura média mensal. E este valor normalmente, corresponde a primeira base de temperatura a qual começam aparecer desconforto por calor. Seus dados de desconforto tanto por frio quanto por calor, ficam em torno da temperatura média mensal externa, apresentando pequena flutuação de horas de desconforto nas bases que se encontrem fora desta faixa. Este ambiente leva a vantagem de ter contato com o porão, pois este tem uma grande inércia térmica, e uma orientação de fachada norte, sem estar diretamente abaixo da cobertura. Todos estes fatores auxiliam para que no inverno suas horas abaixo da base de 19°C não caiam abaixo da temperatura externa média (meses de junho, julho e agosto), e nos meses de meia estação apresente horas dentro da faixa de conforto térmico (bases de 19°C a 25°C).

O ambiente da Copa está em contato em parte com o porão, e por ser integrado a Sala de Estar e Jantar, que tem orientação oeste, mostra uma temperatura média do ambiente. Um outro fator que faz com que haja um aumento na temperatura deste ambiente, é os ganhos de calor devido ao uso dos eletrodomésticos. Este ambiente apresenta aumentos percentuais em relação a temperatura externa principalmente para bases de temperatura acima de 21°C, mas não tanto quanto o Escritório e o Dormitório 3, que estão logo abaixo da cobertura. Suas horas com temperaturas abaixo da base de 19°C não são acentuadas,

visto a proximidade de uma lareira na Sala de Estar, amenizando a quantidade de horas e o grau médio externo.

Esta edificação só no mês de dezembro que apresentou 3 ambientes com todas as temperaturas mensais acima da base de 21°C, com a temperatura média mensal externa em 23.5°C. Mostrando que consegue ter ambientes com temperaturas entre 21°C e 19°C mesmo nos meses mais quentes. E isto se deve a sua pouca capacidade térmica, que permite perder calor para o exterior quando as temperaturas externas ficam abaixo das temperaturas internas.

A casa como um todo mostrou-se bastante eficiente em se tratando de amenizar o desconforto causado pelo frio. Em se tratando de resfriamento, nos meses mais quentes, os ambientes que estão mais conectados com o porão, apresentaram melhor desempenho térmico do que os que se encontram logo abaixo da cobertura.

5.4.4 Casa 4

Para esta edificação as medições foram feitas nos meses de setembro e outubro. E percebe-se que as horas com temperaturas internas acima de determinada base só foram superiores as horas externas na base de 21°C do mês de outubro, onde a temperatura média mensal foi de 20.5°C. No mês de setembro as horas internas acima ou abaixo de determinada base foram inferiores as horas externas.

O ambiente interno desta edificação não apresentou horas com temperatura acima ou abaixo da temperatura base analisada se o lado externo não apresentasse horas acima ou abaixo da respectiva base.

6 Conclusão

Plotando-se os dados climáticos de Florianópolis sobre a carta bioclimática de Givoni, tem-se as estratégias mais recomendadas para alcançar o conforto nesta cidade. Surge então a dúvida de qual o melhor conceito bioclimático a adotar, pois o uso de massa térmica na edificação é recomendado para evitar o desconforto por frio, mas para o desconforto por calor recomenda-se o uso de ventilação, devido à umidade relativa ser alta. No trabalho de ANDRADE (1996) o uso de inércia térmica para o período quente apresentou vantagens frente a uma outra edificação com menor inércia térmica, e recomendou um estudo mais aprofundado sobre o assunto.

Na revisão bibliográfica percebeu-se a pouca pesquisa em campo para o uso de inércia térmica em locais com clima quente e úmido. Devido à facilidade da simulação computacional, as pesquisas tem-se concentrado mais em resultados de simulação.

Neste trabalho investigou-se o uso de inércia térmica em edificações para a cidade de Florianópolis, que possui um verão quente e úmido, e é marcado pelas constantes entradas de frentes frias durante todo o ano.

As medições de temperatura foram feitas em quatro edificações. Três destas edificações localizam-se na Lagoa da Conceição e são construídas em alvenaria, e foram monitoradas durante nove meses. Estas edificações foram selecionadas devido a suas diferenças de capacidade e transmitância térmica da cobertura e dos fechamentos laterais. A quarta edificação localiza-se no bairro Palhoça, é uma casa industrializada de madeira e cobertura com isolamento térmico, e seu monitoramento foi de 2 meses.

Alguns problemas oriundos da pesquisa de campo são as diferenças em cada uma das edificações em que foram dispostos os data loggers de temperatura de bulbo seco: localização, partido arquitetônico, aberturas, e uso. Neste trabalho não se isolou as diversas variáveis que influenciam na temperatura interna, ao contrário, caracterizou-se o desempenho da edificação em função da temperatura interna.

Os valores de capacidade térmica e transmitância térmica encontram-se na tabela 3.1 no capítulo 3. As residências 1 e 2 além de apresentarem a menor área de uso fechada abaixo da cobertura, e possuírem a menor taxa de área de cobertura pela área da envoltória, são as edificações que apresentam a maior inércia térmica. A residência 3 e a

Casa 4 (industrializada de madeira) apresentaram menor valor de capacidade térmica nas paredes, só que a Casa 4 apresentava maior capacidade térmica na cobertura.

As edificações foram monitoradas nos meses de abril a dezembro de 1998. Neste período a distribuição de TBS seguiu a tendência esperada, decréscimo da temperatura externa nos meses de maio e setembro, e aumento das temperaturas a partir do final de outubro. A mínima do período foi de 8.7°C e máxima de 33.6°C, e temperatura média dos meses de abril a dezembro de 1998 foi de 20.0°C. A umidade relativa média do período foi de 81%, com mínima de 32% e máxima de 98%. Segundo GOULART et alli (1998) o valor de TBS médio para Florianópolis é de 20.5°C, muito próximo ao do período das medições, e que, o valor de umidade relativa média anual é de 83%, também próximo ao calculado para o período. Já a radiação média mensal mostrou-se atípica nos meses de abril a maio, e de julho a setembro, apresentando valores abaixo da média mensal dos últimos quatro anos.

As medições resumiram-se a coleta de TBS interna e externamente em cada edificação. Os dados horários de TBS foram plotados em base horária, calculou-se as amplitudes diárias, o amortecimento térmico diário superior e inferior, e o atraso térmico diário. Outras duas formas usadas para analisar os dados foram o uso da carta bioclimática de Givoni, e o somatório de graus hora. Com o uso da carta bioclimática de Givoni analisou-se a porcentagem de horas em conforto e desconforto externo, com as horas de conforto e desconforto procedentes das temperaturas medidas nos ambientes internos. No somatório de graus hora, analisou-se a partir de determinadas bases de temperatura, se a temperatura interna encontrava-se acima, ou dependendo do caso, abaixo da base estipulada. Os resultados usados foram o somatório de horas, e o grau médio, que é o somatório de graus hora pelo número de horas acima/abaixo da base.

A hipótese em que se baseia este trabalho é que o uso de inércia térmica em residências na cidade de Florianópolis, onde o clima é úmido, além de uma estratégia de aquecimento passivo no período frio, serve também como estratégia de resfriamento passivo no período quente, pois o clima da cidade é marcado pelas entradas de frentes frias durante todo o ano.

O objetivo deste trabalho era avaliar através de medições e da análise das temperaturas internas o desempenho térmico de edificações residenciais com diferentes

características construtivas. As diversas formas de análise demonstraram que a edificação que possui maior capacidade térmica em seu fechamento lateral e uso de barreira radiante na cobertura, consegue amortecer os picos de temperatura externa. As amplitudes internas desta edificação foram as mais baixas, e seu amortecimento e atraso térmico não apresentaram nenhuma relação com a variação de radiação solar. Já a edificação que também possui inércia térmica em seu fechamento lateral, mas sem isolamento na cobertura, apresentou o pior desempenho térmico nos meses de maior radiação do que a edificação com menos inércia térmica em sua envoltória, mas com barreira radiante na cobertura.

Pelas medições e suas diversas formas de análise percebe-se a vantagem do uso de inércia térmica no uso do fechamento lateral tanto para o período quente quanto para o período frio. Os resultados da pesquisa mostraram que a residência que têm maior inércia térmica mas com boa orientação solar, apresentou os melhores resultados durante todo o período analisado. Por isto, não se pode afirmar que o uso de inércia térmica não é recomendado para os períodos quentes em Florianópolis, pois o clima do verão não é constantemente quente devido as entradas de frentes frias. Edificações com pouca inércia térmica tem de ter um ganho de calor interno para evitar que as mínimas temperaturas externas ocasionem desconforto por frio.

Algumas recomendações para projetos que adotem o uso de inércia térmica para o clima em estudo:

- ✓ O uso efetivo de inércia térmica só apresenta bons resultados quando faz-se o uso de isolamento na cobertura, evitando o ganho de calor por radiação no período quente, e evitando a perda de calor interno no período frio.
- ✓ O uso de inércia térmica em edificações residenciais poderia ser adotado em ambientes que tenham ocupação primordialmente diurna. Ambientes como dormitórios, é mais interessante permitir um resfriamento mais efetivo com as quedas de temperaturas noturnas no verão, através de uma ampla ventilação noturna, e ou, materiais leves. Mas com o uso de materiais leves na envoltória dos dormitórios é necessário garantir ganhos de calor no período frio (lareiras ou similares). Evitar a orientação oeste para dormitórios. O período frio nesta cidade não é muito longo, mas

para conforto dos ocupantes, estudar a trajetória solar para permitir aquecimento solar passivo através das aberturas.

- ✓ O uso de inércia térmica pode ser combinado com o uso de isolamento térmico. Mas o isolamento deve sempre ser posicionado do lado externo da edificação.
- ✓ Edificações que usem a inércia térmica tem de ter uma boa orientação solar. As paredes orientadas a leste e oeste devem ter um bom sombreamento no verão, e permitir no inverno aquecimento solar passivo.
- ✓ O uso da inércia térmica tem de ter um bom gerenciamento da edificação, ou seja, só ventilar a edificação no verão quando a temperatura externa foi inferior a interna, e no inverno só ventilar quando a externa foi superior a interna. Aspectos como renovações mínimas de ar devem ser garantidos, sem que haja ganhos ou perdas de calor indesejados.
- ✓ Posicionar aberturas que propiciem ventilações cruzadas, e projetar ambientes integrados para permitirem uma melhor permeabilidade as trocas de ar.

7 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos posteriores:

1. Estudo detalhado das melhores características térmicas de materiais que compõe a envoltória através de simulações computacionais.
2. Relações ideais de aberturas/fechamentos em função da orientação, área de uso por volume da edificação, área de uso por área de cobertura, em função das características climáticas.
3. Monitoração da umidade relativa e do uso juntamente com as medições de temperatura para avaliar a importância de cada fator no desempenho térmico de edificações com diferentes envoltórias.
4. Definição do atraso térmico dos componentes externos da edificação em função de sua orientação
5. Avaliar a resistência e a capacidade térmica dos diversos componentes da edificação (cobertura, piso, parede), recomendando o mínimo de isolamento e inércia térmica para diferentes regiões do Brasil, em função das condições climáticas regionais e custos energéticos. E com isto, fazendo uma análise custo/benefício para obter-se o melhor uso de isolamento com o menor tempo de retorno financeiro (payback).

7 Referências Bibliográficas

- ABDELRAHMAN, M.A., AHMAD, A. 'Cost-Effective Use of Thermal Insulation in Hot Climates', *Building and Environment*, Vol. 26 no. 2, pp. 189-194, 1991.
- ANDRADE, S.F. *Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis*. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, SC.
- ASHRAE. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, STANDARD 55-1992. Atlanta, USA.
- ATHIENITIS, A., BERGER X., SANTAMOURIS, M. *Thermal Analysis for Summer Comfort in Buildings*, Series: Energy Conservation in Buildings. Grécia: Editors: M. Santamouris – D. Asimakopoulos, 1995.
- BURCH, D. M., MALCOLM, S.A, and DAVIS, K.L. (1984). 'The Effect of Wall Mass on the Summer Space Cooling of Six Test Buildings', *ASHRAE Transactions*, Vol. 90, Part 2B, pp. 5-21.
- COUSINS, F., e LANG, B. , 'Aspects of structure and thermal mass', *Heating and Air Conditioning Journal* , outubro, pp. 18-22, 1996.
- DE WALL, H.B. 'New Recommendations for Building in Tropical Climates', *Building and Environment*, Vol.28 no. 3, pp. 271-285, 1993.
- DEXTER, M.E., (1980). 'Including Mass and Insulation in Buildings Walls', *ASHRAE Journal*, Março-1980, pp. 35-38.
- FROTA, A.B., SCHIFFER, S.R. *Manual de Conforto Térmico*. São Paulo, Nobel, 1988. Cap. 3: Noções de clima e adequação da arquitetura.
- GHISI, E., LAMBERTS, R. *Desempenho térmico das edificações-Parte1: Definições, símbolos e unidades*. Proposta de Norma. Florianópolis, 1998a.
- GHISI, E., LAMBERTS, R. *Desempenho térmico de edificações- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações*. Proposta de Norma. Florianópolis, 1998b.

- GIVONI, Baruch. *Passive and low energy cooling of buildings*. Nova Iorque, Van Nostrand Reinhold, 1994.
- GOODWIN, S. and M. CATANI (1979). 'The effect of mass on heating and cooling loads and on insulation requirements of buildings in different climates', ASHRAE Transactions, Vol. 85, no. 1, pp. 869-884.
- GOULART, S.V.G., BARBOSA, M.J., PIETROBON, C.E., BOGO, A., PITTA, T. *Bioclimatologia aplicada ao projeto e edificações visando o conforto térmico*. Relatório Interno: 02/94, NPC, UFSC, Florianópolis, 1994.
- GOULART, S.V.G., LAMBERTS, R., FIRMINO, S. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis, Núcleo em Pesquisa em Construção/UFSC, 1997. Cap. 6: Dados Climáticos de Projeto: Cidade de Florianópolis.
- HOPKINS, V., GROSS, G., and ELLIFRITT, D. , 'Comparing the Thermal Performances of Buildings of High na Low Masses', ASHRAE Transactions, Vol. 85, nº 1, pp. 885-902, 1979.
- INCROPERA, e F.P., DEWITT .P. Fundamentos de Transferência e Calor e de Massa. 3ª Edição. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1992. Cap. 2: Introdução à Condução.
- KOENIGSBERGER, O. H., INGERSOLL, T. G., MAYHEW, A., SZOKOLAY, S.V. *Manual of Tropical housing and building. Part one: Climatic design*. 4ª edição. Longman Group Limited, New York, 1980.
- KOLOKOTRONI, M., e YOUNG, A. N., "Guidelines for Bioclimatic Housing Design in Greece". *Building and Environment*, Vol. 25, no. 4, pp.297-307, 1990.
- KUSUDA, T., BEAN, J.W. , "Comparison of Calculated Hourly Cooling Load and Indoor Temperature with Measured data for High Mass Building Tested in a Enviromental Chamber" ASHRAE Transactions 87, p. 1232-1240, 1981.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE, 1979. Cap.: Climatologia da Região Sul.
- NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990). Departamento Nacional de Meteorologia, Brasília, 1992.

- OLGYAY, V., OLGAY, A., *Design with Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press, New Jersey, 1973. Cap.: General Introduction.
- RATNAWEERA, C., HESTNES, A.G. “Enhanced cooling in typical Sri Lankan dwellings.” *Energy and Buildings*: 23, p. 183-190, 1996.
- RIVERO, Roberto. *Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural*. 2ª edição. D.C. Luzzatto Editores, Porto Alegre, 1986.
- RUDOY, W., and DOUGALL, R.S. , ‘Effects of the Thermal Mass on Heating and Cooling Load in Residences’, *ASHRAE Transactions*, Vol. 85, , pp. 903-917, 1979.
- RÜTHER, R., *Média mensal da Radiação Global diária anos de 1994 a 1998*. Comunicação Pessoal, 1999.
- SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D. (editors), *Passive Cooling of Building*. Published by James & James (Science Publishers) Ltd, UK, 1996. Cap. 8: Heat attenuation.
- SANTAMOURIS, M., ATHANASSIOS, A.A. , “Developments on Passive Cooling in Building – Results from recent research.” *ASHRAE Transactions: Symposia*, p. 983-992, 1997.
- SZOKOLAY, S.V. Cooling problems and responses in predominantly overheated humid regions. In: *Passive Cooling*. Ed. Bowen et al, 1981. p. 651-659.
- SZOKOLAY, S.V. Thermal Design of Houses for warm-humid climates. In: *Building & Urban Renewal. Proceedings*. Louvain-la-Neuve, PLEA, 1996. p. 337-342.
- YANNAS, S., MALDONADO, E., eds. *PASCOOL handbook - Designing for summer comfort*. Architectural Association Graduate School, Londres, 1995. Cap. 4: Thermal Inertia.

