

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DOS SOFTWARES
ENERGYPLUS E DESKTOP RADIANCE NA CIDADE
DE CUIABÁ-MT**

ALYSON LINO XAVIER

**PROF.^a DR.^a MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE
NOGUEIRA**

**Cuiabá-MT,
(Novembro/2008)**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DOS SOFTWARES
ENERGYPLUS E DESKTOP RADIANCE NA CIDADE
DE CUIABÁ-MT**

ALYSON LINO XAVIER

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Física Ambiental
da Universidade Federal de Mato
Grosso, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Física
e Meio Ambiente.*

**PROF.^a DR.^a MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE
NOGUEIRA**

**Cuiabá-MT,
(Novembro/2008)**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus.
A minha família que está comigo em todos os
momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

- A Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira por ter me dado a grande oportunidade de estar aqui.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela dedicação e empenho em tornar esta pós-graduação em um modelo a ser seguido.
- Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT): Prof. Dr. José Holanda Campelo Júnior, Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo, Prof. Dr. Carlo Ralph de Musis, Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paula e Prof.^a Dr.^a Gilda Tomasini Maitelli.
- A Prof.^a Msc. Luciane Cleonice Durante pelas orientações na disciplina de Conforto Ambiental do Curso de Arquitetura e Urbanismo (UFMT).
- A amiga Soilce pelo companheirismo e auxílio técnico na secretaria da Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente (UFMT).
- Aos técnicos administrativos Liór e Cesário pelo auxílio técnico na secretaria da Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia (UFMT).
- Aos meus amigos Osvaldo Borges e Marcelo Biudes pelos ensinamentos nos momentos de muita dúvida.
- Aos meus amigos Iramaia e Sérgio pelos conselhos e ensinamentos nos momentos de muita dúvida.
- Aos meus pais Paulo Roberto Leite Xavier e Maria Aparecida Lino Xavier pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho.
- Ao meu irmão Xayer Lino Xavier pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho.
- A minha namorada Suellen Cristina de Amorim pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho.
- Aos meus companheiros de trabalho e pesquisa: Ângela, Flávia, Aguinaldo, Carol, Junior, Fernanda e Karina.
- A Eletrobrás/FAPEMAT pelos recursos disponibilizados para compra dos instrumentos utilizados nas medições de campo desta pesquisa.
- A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 INTRODUÇÃO	4
2.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E LOCALIZAÇÃO.....	5
2.3 CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	7
2.4 CONFORTO LUMÍNICO	11
2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ILUMINAÇÃO	14
2.6 A INFLUÊNCIA DO VIDRO NO CONFORTO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES.....	16
2.7 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	18
2.8 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMÍNICO	19
2.9 ENERGYPLUS.....	21
2.10 DESKTOP RADIANCE	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 ÁREAS DE ESTUDO	26
3.1.1 Caracterização da Residência 01.....	27
3.1.2 Caracterização da residência 02.....	28
3.2 COLETA DE DADOS	30
3.3 ENERGYPLUS.....	31
3.3.1 Passos da Simulação	31
3.3.2 Entrada de Dados	31
3.3.3 Declaração da Geometria da Residência.....	33
3.4 DESKTOP RADIANCE	34
3.4.1 Descrição dos Parâmetros de Simulação.....	34
3.4.2 Modelagem dos Ambientes.....	34
3.4.3 Propriedades Óticas dos Materiais Aplicados.....	35
3.4.4 Dados Geográficos do Sítio da Simulação.....	35
3.5 DADOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS.....	36
3.6 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS UTILIZANDO O ENERGYPLUS	38
4.1.1 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01	38
4.1.2 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01	40
4.1.3 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01.....	41
4.1.4 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01	42
4.1.5 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 02	43
4.1.6 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 02.....	44

4.1.7	Resultados das Simulações para o Outono – Casa 02.....	45
4.1.8	Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 02	45
4.2	ANÁLISE QUALITATIVA DAS SIMULAÇÕES COM	
	O ENERGYPLUS	47
4.2.1	Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01	47
4.2.2	Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01	47
4.2.3	Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01.....	48
4.2.4	Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01	49
4.2.5	Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 02	50
4.2.6	Resultados das Simulações para o Verão – Casa 02.....	51
4.2.7	Resultados das Simulações para o Outono – Casa 02.....	52
4.2.8	Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 02	53
4.3	ANÁLISE QUANTITATIVA DAS SIMULAÇÕES COM	
	O ENERGYPLUS	54
4.3.1	Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01	54
4.3.2	Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01	55
4.3.3	Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01.....	56
4.3.4	Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01	57
4.3.5	Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 02	58
4.3.6	Resultados das Simulações para o Verão – Casa 02.....	59
4.3.7	Resultados das Simulações para o Outono – Casa 02.....	60
4.3.8	Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 02	61
4.4	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS	
	UTILIZANDO O DESKTOP RADIANCE.....	62
4.4.1	Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01	62
4.4.2	Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01	63
4.4.3	Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01.....	64
4.4.4	Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01	65
4.5	ANÁLISE QUALITATIVA DAS SIMULAÇÕES COM	
	O DESKTOP RADIANCE	66
4.5.1	Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01	66
4.5.2	Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01	68
4.5.3	Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01.....	69
4.5.4	Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01	70
4.6	ANÁLISE QUANTITATIVA DAS SIMULAÇÕES COM	
	O DESKTOP RADIANCE	71
4.6.1	Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01	71
4.6.2	Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01	72
4.6.3	Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01.....	73
4.6.4	Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01	74
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	75
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
6.1	REFERÊNCIAS CITADAS	77
6.2	REFERÊNCIAS CONSULTADAS	81

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Clima brasileiro	5
FIGURA 2 – Localização de Mato Grosso	6
FIGURA 3 – Localização de Cuiabá	7
FIGURA 4 - Trocas térmicas pelo corpo humano	8
FIGURA 5 – Reflexão, transmissão e absorção da luz solar pelo vidro.....	17
FIGURA 6 – Epectrofotometria.....	18
FIGURA 7 – Tela inicial de entrada de dados do EnergyPlus.....	23
FIGURA 8 – Localização das áreas de estudo.....	26
FIGURA 9 – Fachada frontal da residência 01	27
FIGURA 10 – Planta baixa da residência 01 – P1: parede 1; P2: parede 2; P3: parede 3; P4: parede 4.....	27
FIGURA 11 – Fachada frontal da residência 02.....	29
FIGURA 12 – Planta baixa da residência 02– P1: parede 1; P2: parede 2; P3: parede 3; P4: parede 4.....	29
FIGURA 13 – Tela de entrada de dados no EnergyPlus.....	32
FIGURA 14 – Tela de entrada das características geométricas da edificação no EnergyPlus	33
FIGURA 15 – Modelagem da residência 01 utilizada no Desktop Radiance.....	34
FIGURA 16 – Tela de entrada dos dados de localização da edificação no Desktop Radiance	35
FIGURA 17 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	39
FIGURA 18 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	40
FIGURA 19 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	41
FIGURA 20 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno.....	42
FIGURA 21 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	43
FIGURA 22 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	44
FIGURA 23 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	45
FIGURA 24 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno.....	46
FIGURA 25 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1;	

	b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	47
FIGURA 26	– Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	48
FIGURA 27	– Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	49
FIGURA 28	– Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno	50
FIGURA 29	– Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	51
FIGURA 30	– Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	52
FIGURA 31	– Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	53
FIGURA 32	– Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno	54
FIGURA 33	– Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	55
FIGURA 34	– Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	56
FIGURA 35	– Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	57
FIGURA 36	– Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno	58
FIGURA 37	– Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	59
FIGURA 38	– Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	60
FIGURA 39	– Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	61
FIGURA 40	– Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno	62
FIGURA 41	– Iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2;	

	c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	63
FIGURA 42	– Iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	64
FIGURA 43	– Iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	65
FIGURA 44	– Iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno	66
FIGURA 45	– Tendência da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	67
FIGURA 46	– Tendência da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	68
FIGURA 47	– Tendência da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	69
FIGURA 48	– Tendência da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno	70
FIGURA 49	– Regressão da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera	71
FIGURA 50	– Regressão da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão	72
FIGURA 51	– Regressão da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono	73
FIGURA 52	– Regressão da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Características construtivas da residência 01	28
TABELA 2 – Características construtivas da residência 02	30
TABELA 3 – Propriedades físicas e térmicas dos elementos construtivos da residência 01	32
TABELA 4 – Propriedades físicas e térmicas dos elementos construtivos da residência 02	33
TABELA 5 – Dados de localização da cidade de Cuiabá.....	34
TABELA 6 – Refletância e transmitância dos materiais da residência 01 fornecidos pelo Desktop Radiance.....	35

RESUMO

XAVIER, A.L. - **Estudo da Utilização dos Softwares EnergyPlus e Desktop Radiance na Cidade de Cuiabá-MT** Cuiabá, 2008. 84 f. Dissertação - (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O objetivo deste trabalho foi aplicar os softwares - EnergyPlus e Desktop Radiance – verificando a confiabilidade na avaliação do desempenho térmico e eficiência energética das Unidades Habitacionais de Interesse Social para o clima de Cuiabá-MT. Para tanto se monitorou dados de temperaturas superficiais e iluminâncias internas de quatro paredes de duas residências, uma no bairro do Morada da Serra e outra no bairro Morada do Ouro, em Cuiabá-MT, durante os quatro períodos do ano, primavera, verão, outono e inverno, sendo 15 dias consecutivos em cada período, no ano de 2007. As avaliações foram desenvolvidas após obtenção das medições com a utilização de um radiômetro, para medidas *in loco*, e os valores simulados pelos softwares EnergyPlus e Desktop Radiance. Foram gerados gráficos comparativos e feita uma regressão para a análise dos dados. A utilização dos softwares mostrou-se confiável na avaliação do desempenho termo-energético das Unidades Habitacionais de Interesse Social para o clima da cidade de Cuiabá/MT.

Palavras chave: Eficiência energética, simulação, conforto termo-energético

ABSTRACT

XAVIER, A.L. - Study of the use of Software EnergyPlus and Desktop Radiance in the city of Cuiaba-MT Cuiabá, 2008. 84 f. Dissertação - (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

The research aimed to apply the softwares - EnergyPlus and Desktop Radiance - verifying the reliability in assessing the thermal performance and energy efficiency of Social Interest Housing Units for the climate of Cuiabá-MT. To do so data from surface temperatures and internal brightness of four walls of two homes, one in the neighborhood of Morada da Serra and one in the neighborhood of Morada do Ouro, in Cuiabá-MT, were monitored during the four periods of the year, spring, summer, fall and winter, with 15 consecutive days in each period in the year of 2007. The assessments were developed after obtaining the measurements using a radiometer for measures on the spot, and the values simulated by the softwares EnergyPlus and Desktop Radiance. Comparative graphics were generated and made a regression to analyze the data. The use of the softwares proved to be reliable in assessing the thermo-energetic performance of the Social Interest Housing Units for the climate of the city of Cuiabá-MT.

Keywords: Energy efficiency, simulation, thermo-energetic comfort

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Há um debate tradicional sobre Unidade Habitacional de Interesse Social – UHIS, muitas vezes focado apenas em termos de custo de construção onde se busca ganho nos materiais e processos de construção, resultando numa ilha de UHIS iguais em que algumas experiências foram mal sucedidas no mundo inteiro por constituírem em bairros desconectados do tecido urbano.

Esse enfoque reducionista levou a construção de um grande número de UHIS também no Brasil, nos últimos anos, sem a preocupação de se levar em conta as características climáticas e ambientais do local, gerando uma necessidade excessiva de consumo de energia para compensar o desconforto dentro das edificações.

Além da preocupação somente com o aspecto econômico, a ocorrência de fatos climáticos de muita intensidade incomuns nos últimos anos, como por exemplo, a ocorrência de furacões no sul do Brasil, o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, o aumento da temperatura do ar, faz com que o clima passe por mudanças antes não vistas. Uma delas é o atraso da chuva na região do Mato Grosso.

O concreto utilizado nas construções brasileiras afeta diretamente o conforto das edificações.

Para evitar os inconvenientes citados anteriormente, deve-se levar em conta o aspecto humano e social garantindo as condições de conforto num nível razoável de qualidade de vida dos usuários.

Em Mato Grosso já se deu início a pesquisas voltadas para a investigação do conforto ambiental e eficiência energética em UHIS, embora o número delas seja insuficiente para saber se as UHIS estão adaptadas ao clima de Cuiabá, cidade

lembrada na obra poética: “Te Ver” de Samuel Rosa et. al. que diz se impossível “[...] não sentir calor em Cuiabá [...]” interpretada pelo grupo Skank.

Atualmente se dá maior enfoque à realização de análises de conforto térmico e eficiência energética após a construção e ocupação das habitações a fim de adaptá-las as condições de conforto do usuário.

Mas porque ao invés de realizar estas análises pós-construção e ocupação, não realizar simulações computacionais para prever as situações de conforto e eficiência energética enquanto projeto?

A utilização de simulações computacionais possibilita avaliar qual será a melhor forma de construção a fim de evitar o aumento de custos com mudanças a serem realizadas após a conclusão da edificação.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o início do processo de normatização do conforto ambiental no Brasil, torna-se fundamental a realização de estudos e pesquisas para conhecer a realidade encontrada nas comunidades com relação aos parâmetros definidos pelas normas. A fim de conhecer a realidade das habitações sociais construídas em Cuiabá, nos últimos quatro anos, sistematizaram-se as informações através de estudos técnico-científicos (ARAÚJO, 2004; ESTULANO, 2004; SAMPAIO, 2006; LIBOS, 2007; OLIVEIRA, 2007; RONDON, 2007), relativo ao desempenho térmico destas habitações, subsidiando pesquisas futuras.

Com base nestas informações levantadas, tornar-se-ão possíveis iniciativas que visem melhorar o desempenho térmico destas habitações. Desse modo, os dirigentes públicos terão à disposição informações técnicas e científicas que podem ser utilizadas, visando melhorar o nível das habitações construídas e a qualidade de vida de seus ocupantes.

Para avaliar a eficiência energética de uma edificação o comportamento de algumas variáveis precisa ser estudado, tais como a temperatura, umidade relativa, velocidade do vento entre outras.

Em função de eventuais dificuldades de realização de medições das variáveis utilizadas para se avaliar o conforto térmico e a eficiência energética, como por

exemplo, a falta de equipamentos apropriados, surge a necessidade de se realizar simulações computacionais que reproduzam a realidade das condições de conforto e eficiência energética, podendo assim gerar sugestões de adaptação das edificações e levar a uma redução no consumo de energia, bem como a modificação de projetos antes mesmo de sua execução.

O objetivo geral deste trabalho é aplicar os software - EnergyPlus e Desktop Radiance – verificando a confiabilidade na avaliação do desempenho térmico e eficiência energética das Unidades Habitacionais de Interesse Social para o clima de Cuiabá-MT, tendo como objetivos específicos: a) levantamento das características construtivas da edificação, para a entrada de dados no programa *EnergyPlus*, com base no levantamento de Oliveira (2007) de duas residências; b) simular dados de temperatura utilizando o programa EnergyPlus; c) simular dados de iluminação utilizando o programa Desktop Radiance; d) utilizar dados de Oliveira (2007) a respeito de iluminação e temperatura das duas edificações; e) comparar os dados de temperatura obtidos pelo EnergyPlus com os medidos in loco e f) comparar os dados de iluminação obtidos pelo Desktop Radiance com os medidos in loco.

Este trabalho estudou a possibilidade de utilização de programas computacionais para simular condições de conforto e eficiência energética, ainda que em projeto, prevendo uma melhor adaptação de habitações ao clima local.

Essas simulações serão de fundamental utilidade na análise do conforto térmico e lumínico possibilitando melhores condições do sistema construtivo em edificações na cidade de Cuiabá/MT.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Os estudos em conforto térmico e lumínico vêm crescendo muito no Brasil criando a necessidade de realizar simulações computacionais a fim de se adequar as edificações ao rigor climático local.

Em virtude do forte rigor climático, vários trabalhos têm sido desenvolvidos na cidade de Cuiabá com o intuito de ser amenizado sem a necessidade do alto consumo de energia através de ar-condicionado ou outros equipamentos elétricos.

A crise no sistema energético é apenas um dos primeiros efeitos de uma situação que tende a se tornar mais grave com o decorrer dos anos. Estes efeitos ocorrem principalmente em virtude de atuações incorretas do homem na natureza. O uso racional é o principal meio de evitar que as alterações no meio ambiente atrapalhem as atividades cotidianas das pessoas, (NOGUEIRA, 2002).

Rauber et al. (1993) nota diferenças discrepantes entre os resultados de simulações que ele realizou com diversos programas computacionais. Vittorino (1994) realiza um estudo teórico-experimental de método de cálculo para a determinação de temperatura de ambientes condicionados. Pedrini (1997) elabora uma metodologia para calibrar modelos para simulações térmicas e energéticas de edificações obtendo divergências entre resultados de simulação e de medição.

Vários softwares de simulação vem sendo utilizados, entre eles o EnergyPlus e o Desktop Radiance, os quais vêm se destacando como os mais utilizados em função da aproximação dos resultados com os dados medidos, quando comparado com outros softwares.

Grings e Beyer (2003) considera em seu estudo realizado em Porto Alegre que houve uma boa concordância entre as temperaturas e as cargas térmicas medidas e simuladas pelo EnergyPlus.

É importante que se conheçam as vantagens e limitações da ferramenta computacional disponível para simulações termoenergéticas (GRINGS e BEYER, 2003).

2.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E LOCALIZAÇÃO

Para Mascaró (1991) tempo é o estado atmosférico em certo momento, considerado em relação a todos os fenômenos meteorológicos: temperatura, vento, umidade etc. Esse estado é essencialmente variável. Entretanto num determinado lugar, em meio a essas contínuas mudanças, distingue-se algo de constante, de previsível, que se constitui o que se chama CLIMA.

O Brasil está localizado em uma região tropical do globo terrestre de baixas latitudes, mais especificamente entre o Trópico de Capricórnio e o Equador. Segundo Pereira et al. (2002) as regiões brasileiras podem ser agrupadas em três grupos de climas: tropical úmido, seco, e temperado quente.

A classificação mais utilizada para os diferentes tipos de clima do Brasil assemelha-se a criada pelo estudioso Strahler (1951), que se baseia na origem, natureza e movimentação das correntes e massas de ar (Figura 1).



FIGURA 1 – Clima brasileiro
FONTE: Strahler (1951)

O clima de Mato Grosso é classificado como clima Tropical, com duas estações bem definidas, inverno seco e verão chuvoso (ALMEIDA JUNIOR, 2005). Está localizado na região centro-oeste do Brasil (Figura 2).

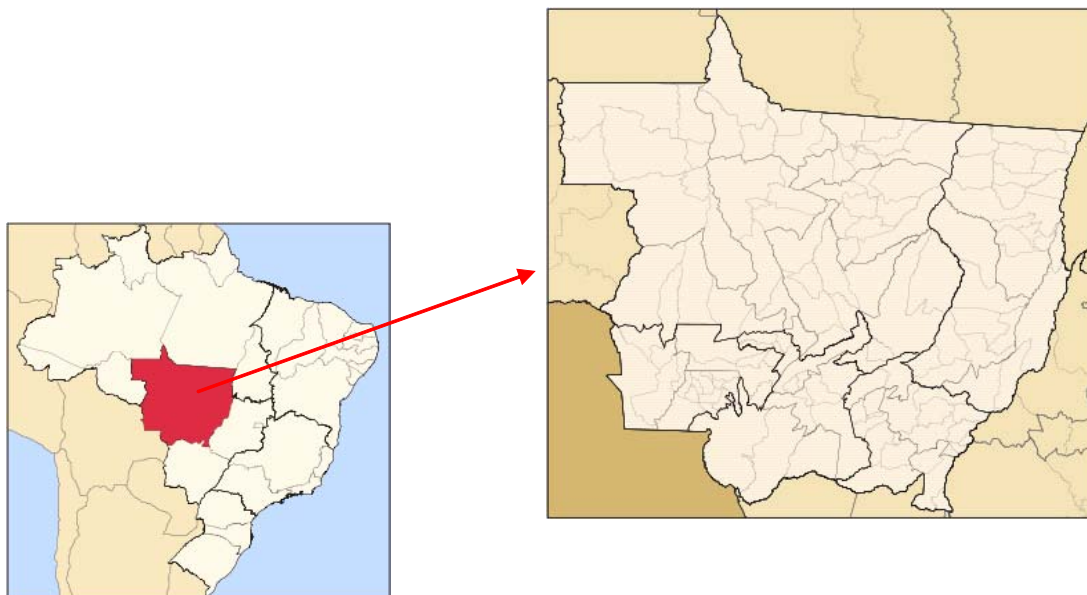


FIGURA 2 – Localização de Mato Grosso
FONTE: Wikipédia (2008)

O estudo desenvolveu-se nos bairros Morada do Ouro e Morada da Serra em Cuiabá-MT (Figura 3), que caracteriza-se como uma região de clima tropical, com altas temperaturas praticamente todo o ano.

Conforme Miranda & Amorin (2001) Cuiabá possui 3.224,68 Km² de extensão territorial. A região pertence ao Planalto dos Guimarães, Depressão Paraguai, calha do Rio Cuiabá, num clima tropical quente e sub-úmido. Caracteristicamente, o clima de Cuiabá é dividido em um período seco (de maio a outubro) e outro chuvoso (novembro a abril), não existindo inverno propriamente dito (SALDANHA et al., 2005).

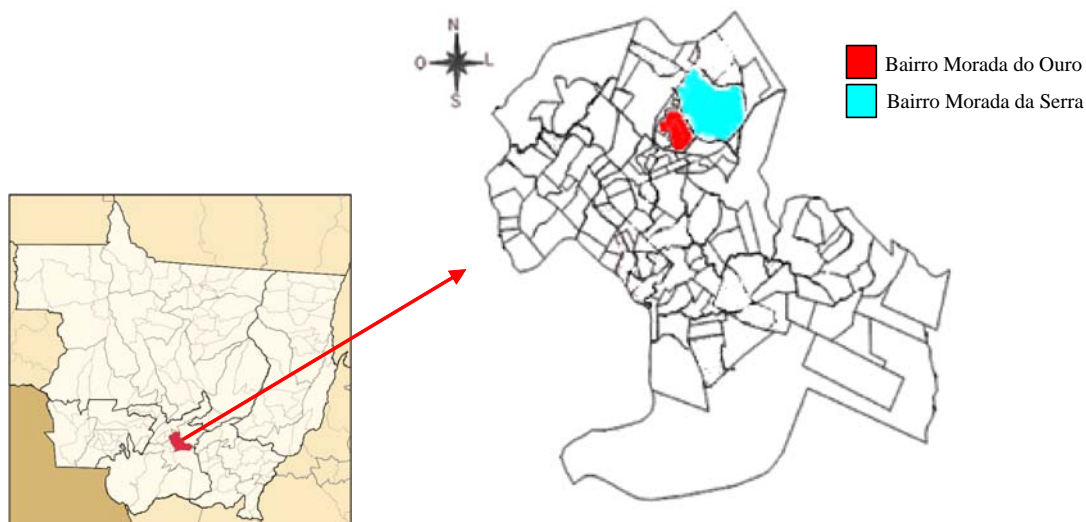


FIGURA 3 – Localização de Cuiabá
FONTE: Wikipédia (2008) e Silva et al. (2008), modificado

Para Ribeiro (1993) a classificação dos três níveis da escala climática pode ser definida como:

[...] Nível macroclimático é a interação entre a radiação solar, a curvatura da Terra e os seus movimentos de rotação e translação.[...] Nível mesoclimático, interação entre a energia disponível (para o processo de evaporação e de geração de campos de pressão) e as feições do meio terrestre.[...] Nível microclimático, interação entre os sistemas ambientais particulares na modificação dos fluxos de energia, umidade, massa e momentum.

2.3 CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Conforto Térmico pode ser definido como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente, (LAMBERTS et al. 2006).

Segundo Xavier (1999) para que uma pessoa esteja em conforto térmico é necessário:

[...] que se verifiquem três condições fisiológicas e ambientais, sem as quais este estado não é capaz de ser atingido, quais sejam: que a pessoa se encontre em neutralidade térmica; que a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor, estejam dentro de certos limites

compatíveis com sua atividade; que a pessoa não esteja sujeita a nenhum tipo de desconforto térmico localizado.

Vários fatores podem causar desconforto localizado em indivíduos no desempenho de quaisquer atividades. Esses fatores, como o próprio nome sugere, não atingem o corpo como um todo, porém apenas uma parte, e embora a pessoa possa estar satisfeita com a temperatura do corpo como um todo (TANABE, 1988), não se encontrará em conforto devido a essa insatisfação localizada.

De acordo com Fanger (1970), a razão de criar-se condições de conforto térmico, reside no "desejo do homem de sentir-se termicamente confortável". Além disso, continua o autor, o conforto térmico pode ser justificado do ponto de vista da "performance humana".

O desconforto pode ser sentido quando há diferença no balanço entre a energia produzida e a energia perdida pelo corpo, tendo assim a sensação de calor ou de frio.

O principal sistema de termo-regulação do corpo humano é a pele, pois através dela realiza trocas de calor entre o corpo e o ambiente (Figura 4). A regulação da temperatura da pele é feita pelo fluxo sanguíneo, assim, quando o corpo sente calor, aumenta a circulação na periferia do corpo, favorecendo a transpiração. Quando sente frio, diminui o fluxo sanguíneo nas camadas subcutâneas, dificultando que o corpo perca calor para o ambiente.

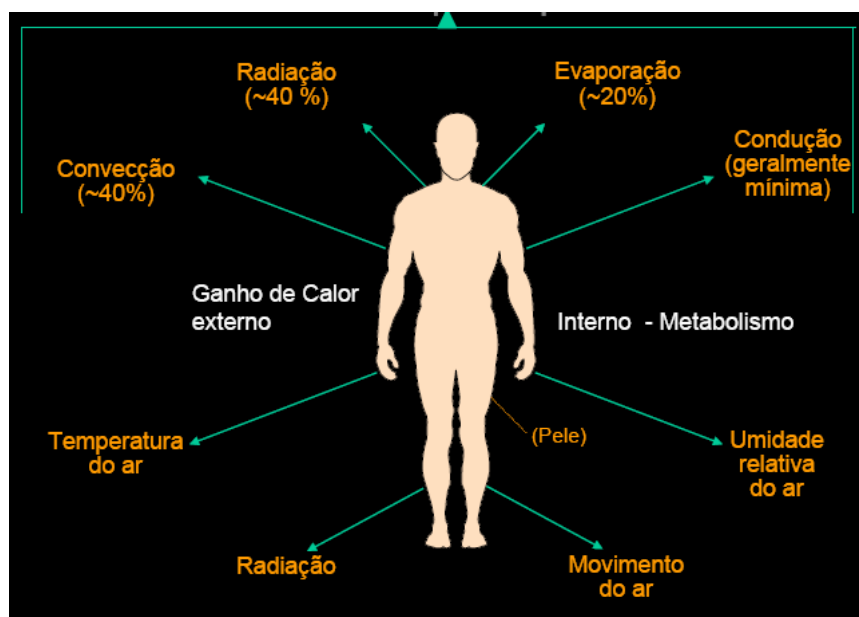


FIGURA 4 - Trocas térmicas pelo corpo humano
FONTE: FAUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Conforto e balanço térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem-estar térmico depende do grau de atuação do sistema termoregulador na manutenção do equilíbrio térmico do corpo humano. Isso significa que quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto.

Segundo Borduni (2006):

O calor gerado pode ser perdido do modo seco ou de modo úmido. As trocas térmicas secas podem ser por condução, por convecção ou por radiação, e esse calor liberado é chamado de calor sensível. Quando a troca térmica é úmida, esta acontece por evaporação e é chamada de calor latente.

As trocas por condução são aquelas em que um corpo ao tocar a superfície de outro corpo transfere energia. Já nas trocas por convecção o fluido (líquido ou gasoso) ao se deslocar de um ponto ao outro leva consigo uma quantidade de calor.

As trocas por evaporação ocorrem quando a água – principal substância responsável pela evaporação – passa do estado líquido para o estado de vapor.

Com a finalidade de quantificar o comportamento humano ante o ambiente térmico são definidos índices que expressam esta relação de causa e efeito, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno.

Segundo Frota (2001) os índices são classificados em:

- a) Índices biofísicos — que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos.
- b) Índices fisiológicos — que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar.
- c) Índices subjetivos — que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

A temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar são variáveis ambientais que interagem na sensação de conforto térmico do homem, Maciel (2002), além dessas variáveis, a vestimenta e a atividade física do ocupante também influenciam na sensação térmica do homem.

Nos edifícios os fatores que influenciam na modificação das condições de conforto são as paredes, altura do pé direito, piso e principalmente o material de cobertura, que recebe toda radiação solar incidente e é o maior responsável pelo microclima gerado dentro do edifício (GHELFI FILHO, 1991).

Eficiência energética em edificações, trata-se de um vasto conjunto de procedimentos e estratégias que visam garantir o uso racional da energia e o conforto dos usuários. Ele abrange desde estratégias bioclimáticas aplicadas ao empreendimento, passando por tecnologia da iluminação, até a certificação energética das construções, entre outros aspectos, (MEIRINO, 2004).

Para manter níveis de conforto dentro de uma edificação com o menor consumo de energia, é preciso ter metas comuns à edificações sustentáveis (EDWARDS, 2003), como:

- a) Adequação do projeto às condições ambientais locais, seguindo princípios baseados em condições psicométricas, geográficas, etc;
- b) Utilização de técnicas simples em detrimento às complexidades desnecessárias (alguns problemas e baixo desempenho ambiental observados nos modernos edifícios atuais podem ser resultados de super especificações);
- c) Exploração da capacidade térmica do material estrutural;
- d) Maximização da utilização da luz natural;
- e) Maior controle e possibilidade de intervenção do usuário sobre o ambiente interno;
- f) Evitar durante o estágio de projeto, o super-dimensionamento como forma de possibilitar futuras modificações ou adaptações ao uso (a flexibilidade e adaptabilidade do edifício as novas tecnologias deve ser analisada e adotada sem a necessidade de projetar folgas não utilizadas já no início da operação).

O método de simulação prevê que uma edificação submetida a aprovação seja simulada e seu consumo anual de energia seja menor ou igual a uma edificação idêntica, porém simulada com os parâmetros mínimos do método prescritivo. Assim, tendo as variáveis, a regulamentação irá indicar o que é necessário cumprir para que a edificação seja considerada minimamente eficiente, o que não significa que ela seja

eficiente. Para alcançar uma eficiência superior ao mínimo, deve-se proceder à simulação e obter um consumo anual de energia que seja menor que o consumo da edificação de referência modelada usando os parâmetros mínimos.

2.4 CONFORTO LUMÍNICO

Entre os séculos XVII e XVIII, referente ao período de Revolução Industrial na Europa, se deu particular qualidade à iluminação mediante o estudo refinado dos detalhes, com repercussão tardia no Brasil principalmente o século XIX (VIANNA, 2001).

A demanda por uma iluminação natural mais eficiente trouxe novos tipos de edifícios tais como: escolas, hospitais e fábricas, com o desenvolvimento econômico e social ocorrido no século XIX. No setor de serviços, do ponto de vista da iluminação, muita gente necessitava realizar tarefas visuais simultaneamente, em virtude de grandes existentes neste setor.

O clima é o condicionante dos diversos tipos de habitações que temos no Brasil, relacionando iluminação com a ventilação, o conforto higro-térmico e as aberturas.

A iluminação, uma das variáveis do conforto ambiental interno, é bastante importante na concepção do projeto arquitetônico, pois está intrinsecamente relacionada ao ruído e à temperatura. Além disto, a grande maioria das atividades produtivas são tarefas visuais que necessitam de quantidade e qualidade de iluminação.

O olho é um instrumento ótico que coleta as ondas luminosas e as transforma em impulsos nervosos que estimulam o cérebro, permitindo a formação e decodificação das imagens. (KRAUSE et al., 2004).

Os ambientes construídos são iluminados para permitir o desenvolvimento de tarefas visuais. Cada tarefa visual, em função do nível de detalhes envolvidos merece ser iluminada adequadamente. Embora possa variar de um indivíduo a outro, podemos dizer que a ausência de uma situação mínima de conforto traz fadiga e

desgaste dos órgãos visuais, reduz a acuidade visual trazendo o mau desempenho das tarefas propostas.

A análise de desempenho também pode ser aplicada às tarefas não voltadas para a produção capitalista, ou seja, o próprio lazer ou culto religioso.

Conforto visual, segundo Lamberts (1997), é a existência de um conjunto de variações, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com o menor risco de prejuízo à vista e com reduzidos riscos de acidente.

Ao se realizar qualquer tarefa visual uma série de fatores de ser levados em consideração na relação Homem/meio ambiente:

- a) A vista e a visão.
- b) A tarefa visual que o indivíduo vai desenvolver.
- c) Campo visual do homem.
- d) Nível de iluminação.
- e) Luminância e contrastes.
- f) Perturbações visuais – o ofuscamento.

As grandezas físicas indispensáveis no estudo do conforto lumínico (PEREIRA, 2000) são:

- a) Fluxo Radiante e Fluxo Luminoso - Fluxo radiante é a potência [W] da radiação eletromagnética emitida ou recebida por um corpo. O fluxo radiante pode conter frações visíveis e não visíveis. O componente de qualquer fluxo radiante que gera uma resposta visual é chamado de fluxo luminoso - ϕ .
- b) Eficiência Luminosa - Uma fonte de luz ideal seria aquela que converteria toda sua potência de entrada [W] em luz [lm]¹. Infelizmente, qualquer fonte de luz converte parte da potência em radiação infravermelho ou ultravioleta. A habilidade da fonte de converter potência em luz é chamada de eficiência luminosa.

¹ Pode-se dizer que eficiência luminosa de uma fonte luminosa é o quociente entre fluxo luminoso emitidos em lumens, pela potência consumida em Watts. Retrata a quantidade de “luz” que uma fonte luminosa pode se produzir a partir da potência elétrica de 1 Watt. Quanto maior o valor da eficiência luminosa de uma determinada lâmpada, maior será a quantidade de luz produzida com o mesmo consumo. Fonte: <<http://www.indelpa.com.br/info.asp>>

- c) Intensidade Luminosa - Luz que se propaga numa dada direção, dentro de um ângulo sólido unitário.
- d) Iluminância - Quando a luz emitida por uma fonte atinge uma superfície, esta superfície será iluminada. Assim, iluminância (E), é a medida da quantidade de luz incidente numa superfície por unidade de área. Sua unidade no sistema internacional é lumen/m² ou lux [lx].
- e) Luminância – Pode ser considerada como uma medida física do brilho de uma superfície iluminada ou fonte de luz, sendo através dela que os seres humanos enxergam. A luminância é uma excitação visual e a sensação de brilho é a resposta visual desse estímulo.

Segundo Vianna (2001) a definição dos critérios de desempenho a serem cumpridos por cada sub-área do Conforto Ambiental está em função de duas grandes variáveis:

- a) Uso do espaço – Caracterização da utilidade de cada ambiente baseado nas condições mínimas para a realização de cada atividade, as superposições de funções etc. É a forma como o usuário percebe e usa o espaço.
- b) Exigências humanas e funcionais em relação ao conforto luminoso, térmico e acústico, que vai determinar os critérios de desempenho em si.

Com relação à iluminação natural, três são os critérios gerais de desempenho, a saber (VIANNA 2001):

- a) Níveis mínimos de iluminância para cada atividade (estabelecidos pela NB 5.413 da ABNT).
- b) Não incidência de sol direto para as atividades visuais de acuidade (leitura, escrita, costura etc.).
- c) Uniformidade máxima entre dois pontos quaisquer do local.

O olho humano se adapta melhor à luz natural que à artificial; portanto é melhor trabalhar com luz natural. A luz artificial não reproduz as cores da luz natural (tem espectro diferente), nem varia conforme as horas do dia, reduzindo assim, a riqueza em cores e contrastes dos objetos iluminados. É importante notar também que a luz natural, além de seus benefícios para a saúde, dá a sensação psicológica do tempo – cronológico e climático – no qual se vive, ao contrário da monotonia fornecida pela luz artificial, (CORBELLA, 2003).

A utilização da iluminação natural nos ambientes de uma edificação traz grandes vantagens aos seus usuários, tais como a conservação de energia, o contato com o exterior, a variação de iluminação, a qualidade da luz e os benefícios psicológicos e fisiológicos de um ambiente mais agradável. Quando bem dimensionada, a iluminação natural pode diminuir sensivelmente o consumo de energia decorrente da utilização da iluminação artificial e nos dias/horas em que não for suficiente para a realização das tarefas pode ser complementada com a luz artificial, (AMORIM, 2002).

2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ILUMINAÇÃO

Os sistemas de luz artificial são agentes consideráveis no consumo total de energia das edificações, principalmente em edifícios não residenciais. Estudos simulados em três cidades de climas distintos (Atenas, Londres e Copenhague), para espaços de escritório de 54m², indicam que, em todos os casos, o sistema de luz artificial contribui em 50% do consumo total de energia elétrica. Em cidades de clima frio, edifícios de plantas profundas, com áreas extensas e fora do alcance da luz natural, podem ter um consumo energético para iluminação artificial maior que o referente ao aquecimento nos meses de inverno. Conclui-se que no verão o excesso do calor gerado pela luz artificial fatalmente resulta em aumento da demanda energética do sistema mecânico de resfriamento (EUROPEN COMISSION, 1994).

Em iluminação, a eficiência energética não está relacionada apenas com a redução do consumo de energia, mas também com a obtenção de um sistema eficiente do ponto de vista quantitativo e qualitativo, devendo incluir um bom projeto e equipamentos de qualidade empregados de uma maneira efetiva (BONATES, 2004).

Para se obter um sistema de iluminação energeticamente eficiente deve-se, primeiramente, estudar a utilização da luz natural. No Brasil essa premissa é amplamente fortificada devido a grande disponibilidade de luz natural existente em função das características climáticas.

O Brasil possui uma das abóbadas celestes mais claras do mundo e, em grande parte do território, a presença de nebulosidade é reduzida quando comparada a outros

países, fato que evidencia o enorme potencial de racionalização energética que representa a utilização da luz natural (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

A grande quantidade de iluminação disponível no Brasil gera o potencial necessário para economizar energia com iluminação, no entanto a arquitetura deve adequar-se às situações e às diferentes localidades dentro do país para não gerar situações críticas relacionadas ao conforto térmico.

Segundo Vianna (2001) tem-se observado que em países de clima quente como o nosso, nos edifícios de uso público (escolas principalmente), a preocupação com o superaquecimento (devido a ganhos de radiação solar direta) tem levado ao uso de proteções solares super dimensionadas. O resultado é o bloqueio da quantidade de luz natural requisitada para o cumprimento das tarefas, o uso permanente dos sistemas artificiais de iluminação e os conseqüente aquecimento e gasto de energia desnecessários.

A determinação direta do potencial de economia pelo uso da luz natural é feita levando em consideração a localização geográfica, o clima, o entorno, o uso e as características físicas do projeto. “Quanto mais alta a latitude da cidade, menor a quantidade e qualidade da luz disponível, na mesma medida em que aumentam as necessidades de aquecimento” (VIANNA 2001).

Pesquisas desenvolvidas na IEA (2000) comprovam que o objetivo de um projeto de iluminação natural que busca economia de energia deve ser proporcionar um sistema de iluminação natural adequado a um clima particular e um exemplar arquitetônico por um período significativo do ano, o que permite que a luz artificial seja substituída pela luz natural e que os gastos com climatização sejam reduzidos.

Dependendo da quantidade de iluminação disponível não podemos exagerar na utilização da luz natural, pois o excesso desta pode ocasionar o aumento da carga térmica no ambiente, principalmente em locais onde há muito iluminação disponível durante a maior parte do ano. Juntamente com a luz chega ao ambiente energia.

Segundo ELETROBRÁS/PROCEL (2002), as maiores dificuldades relacionadas ao correto aproveitamento da luz natural são:

- a) A variação da iluminância da abóbada celeste durante o dia;
- b) Realização de tarefas com diferentes exigências visuais no mesmo recinto;

c) A carga térmica que entra nas edificações.

Para Costa (1998), além da luz solar direta e do iluminamento proveniente da abóbada celeste, a energia solar gera outras possibilidades de fontes de energia alternativas que não consomem energia elétrica. Dentre elas: fotovoltaica, térmica, eólica, hidráulica e biomassa.

2.6 A INFLUÊNCIA DO VIDRO NO CONFORTO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Alguns vidros possuem a propriedade de refletir a radiação em todas as suas frequências com a função de filtrar os raios solares, tais vidros são chamados de refletivos. Isso faz com que eles sejam grandes aliados do conforto ambiental e da eficiência energética das edificações.

Segundo Bauer (1995) o vidro refletivo pode ser fabricado, tendo como base o vidro monolítico, através de dois processos:

- a) Pirolítico, ou on line – Processo em que uma camada refletiva é aplicada na face superior do vidro monolítico antes do esfriamento da placa ou após o reaquecimento da placa. Estando quente a chapa de vidro e com a superfície em estado plástico, os óxidos penetram um pouco na superfície e, ao resfriar o vidro, a camada refletiva (chamada de camada dura, hard coat) torna-se resistente. Dessa forma o desempenho de filtrar os raios solares é mais fraco.
- b) Em câmara a vácuo, ou off line (sputtering methode) – A camada refletida é depositada em câmaras de alto vácuo, por bombardeio iônico e em atmosfera de plasma, depois de o vidro sair da linha de produção e ser resfriado. O resultado são vidros refletivos com melhor desempenho de proteção solar, porém com camada refletiva mais superficial.

Antes de falarmos sobre as características específicas de um vidro refletivo é importante saber como ocorrem os fenômenos físicos que comandam o desempenho desse produto e como a radiação solar incide sobre uma construção, particularmente sobre as fachadas e coberturas (Figura 5).

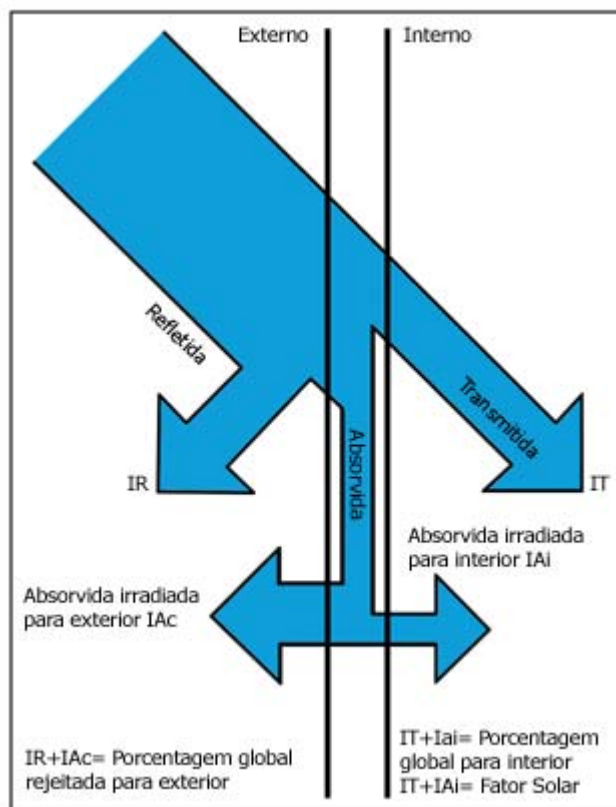


FIGURA 5 – Reflexão, transmissão e absorção da luz solar pelo vidro
FONTE: Gelinski, 2004

Entre 0 e 380 nanômetros estão as radiações ultravioleta (UV), que são invisíveis ao olho humano e têm características benéficas e maléficas para o homem. Na faixa entre 380 e 800 nanômetros, temos o espectro da luz visível, que, começa nas frequências mais altas do violeta, passa pelo azul e vai pelo verde, amarelo até chegar ao vermelho, passando depois para as radiações no infravermelho (IV), que também são invisíveis e concentram mais calor, apresentado na Figura 6.

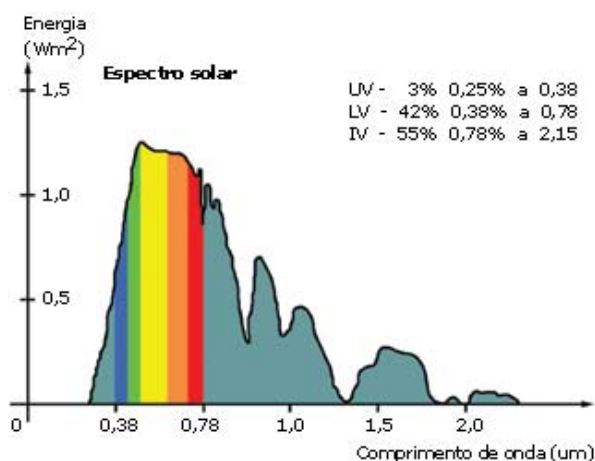


FIGURA 6 – Epectrofotometria
FONTE: Gelinski, 2004

2.7 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

Entende-se o termo “simulação computacional” como referente a qualquer algoritmo que mimetiza um processo físico. (HITCHCOK, 1995).

A simulação termo-energética caracteriza-se por reproduzir um caso real através de um modelo que permite avaliar o comportamento térmico quando submetido a diferentes condições, tais como alterações dos fatores ambientais, características dos materiais do envoltório do prédio bem como os fatores internos como pessoas, lâmpadas e equipamentos (HAGEL, 2005).

Mesmo antes da existência da edificação a simulação nos permite estimar o seu comportamento ambiental levando em consideração o clima local.

Na avaliação de Romero (1995), os programas computacionais têm sido cada vez mais aplicados pelo fato de poderem ser utilizados tanto para projetos que ainda estejam em processo de concepção, como para aqueles que já se encontram construídos, e necessitam de algum tipo de modificação, para fins de análises de viabilidade. Segundo ele, a grande vantagem consiste em poder efetuar cálculos que permitem análises de ganhos de calor por meio da envoltória e ganhos de calor gerados internamente para diversos espaços de uma edificação.

Segundo Lamberts et al. (2001), o uso de modelos computadorizados para predição tem se tornado unanimidade na área de projeto e manutenção de edifícios, onde são empregados para auxiliar as decisões relativas ao projeto, operação e manutenção do edifício.

A simulação computacional tem provado ser uma ferramenta poderosa para estudar o desempenho ambiental dos edifícios, especialmente nas duas últimas décadas. A interação entre os aspectos de projeto, clima, sistemas eletromecânicos e os ocupantes em um edifício é uma tarefa muito complexa. Através dos recursos da simulação é possível compreender melhor esses fatores. As ferramentas de simulação permitem apoiar a prática de projeto da arquitetura, possibilitando a realimentação entre a tomada de decisões e logo em seguida a avaliação de seu impacto ambiental. (CALDAS E NORFORD, 2002).

São muitos os programas destinados à simulação de desempenho térmico de edificações, entre os quais podem ser citados: THEDES, NBSLD, COMFIE, DOE 2.1E, BLAST, ESP-r, TRNSYS, EnergyPlus (todos de origem estrangeira), ACTERM, COBRA e ARQUITROP (desenvolvidos no Brasil).

Pereira (2008) afirma que no Brasil, ainda são poucos os profissionais de engenharia e arquitetura que utilizam tais programas como ferramenta de trabalho. As principais causas disto é a complexidade dos programas e a conseqüente dificuldade e demora no aprendizado pelos usuários.

A definição dos padrões de uso e das trocas de ar da edificação compõe as principais dificuldades na modelagem das simulações, fazendo com que sejam desconsideradas em muitas simulações. A inclusão desses fatores é de grande importância, principalmente tratando-se de edificações residenciais, pois eles exercem grande influência sobre as trocas de calor do edifício.

2.8 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMÍNICO

A simulação da propagação da luz requer conhecimentos sólidos de geometria analítica, álgebra linear, ótica, computação e, ainda, iluminação na Arquitetura.

Pacotes prontos, como o Radiance, desenvolvido pelos Laboratórios Lawrence Berkeley e apresentado por Ward (1994), têm facilitado o uso das aplicações finais e podem desencorajar o domínio dos métodos utilizados para a modelagem físico-matemática dos fenômenos envolvidos.

A simulação por computador permite reproduzir fenômenos ou sistemas de forma a testar os seus comportamentos sob as mais diferentes situações (AMORIM, 2003).

Podemos ainda, com o auxílio da simulação, elaborar projetos adaptados ao clima da região onde será executado o projeto, evitando grandes modificações em edificações após suas construções.

Ao simular um objeto ou fenômeno, busca-se atribuir ao modelo simulado propriedades e (ou) capacidades do modelo real e não mais somente “copiar” sua aparência visual, o que irá depender da finalidade da simulação (MACHADO, 2001).

O estudo da aplicação do programa de simulação da iluminação pode ser dividido em 4 critérios principais, segundo Inanici (2001):

- a) Dados de entrada – o passo inicial para a simulação em projeto de iluminação é a construção do modelo geométrico e a definição das características dos materiais e as fontes luminosas, que constituem dados de entrada para a simulação. A geometria do modelo deve ser construída de maneira a representar as superfícies do espaço, principalmente aquelas que interagem com as fontes de luz. Os materiais devem ser especificados quanto à cor, refletância e transmissão luminosa, para que o modelo seja fisicamente fundamentado.
- b) Algoritmos – os programas de simulação da iluminação são ditos fisicamente fundamentados, pois utilizam os algoritmos de iluminação global para descrever a interação da luz na cena e simular seus efeitos sobre as superfícies dos objetos. Os algoritmos utilizados radiossidade, para o cálculo da propagação da luz difusa do ambiente, e o *ray tracing*, que calcula as contribuições da reflexão especular.
- c) Saída dos resultados – Os resultados do processo de simulação podem ser dados por meio da exibição de relatórios numéricos, que descrevem os

níveis de iluminação do ambiente, imagens estáticas, formas mais utilizadas, ou através de animação e *walkthrough*.

- d) Ferramentas de análise – a maioria dos programas disponibiliza ferramentas de análise quantitativa, tais como gráficos isolux e imagens em falsa cor (técnica *pseudo-color*), em que faixas de cor entre azul e vermelho são atribuídas aos valores de distribuição de iluminamento ou luminância, emulando as linhas de isolux, o que facilita a análise da distribuição luminosa no ambiente.

2.9 ENERGYPLUS

O EnergyPlus (E+) foi desenvolvido a partir de dois programas: DOE-2 e BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics), que foram desenvolvidos no final da década de 70 início dos anos 80 como ferramenta de simulação de energia e de carga térmica. O público alvo eram engenheiros e arquitetos que queriam dimensionar corretamente aparelhos de ar condicionado de grande porte, fazer a análise de consumo de energia e otimizar o desempenho dos mesmos.

Com a crise energética do início dos anos 70 começou a desenvolver esses programas. A partir de dados de descrição da construção, de um arquivo climático e de outros parâmetros fornecidos pelo usuário, o E+ calcula a carga térmica de resfriamento e aquecimento necessárias para o controle térmico do ambiente, bem como as temperaturas superficiais das paredes da edificação em estudo. Para os cálculos o programa utiliza o conceito de Zonas, que não são necessariamente salas, mas sim definidas normalmente como uma região da construção ou conjunto de salas submetidas ao mesmo controle térmico. Zonas podem interagir termicamente umas com as outras através de superfícies adjacentes e misturas de fluxos de ar.

Borduni (2006) diz que o EnergyPlus utiliza as seguintes hipóteses para o Balanço de Energia:

- a) Temperaturas das superfícies uniformes;
- b) Radiação de ondas curtas e longas uniforme;
- c) Troca de radiação entre as superfícies;

- d) Condução no interior do elemento e
- e) Uma zona térmica apresenta temperaturas diferentes.

Segundo Strand (2000), o EnergyPlus apresenta algumas características que o destaca a frente de diversos programas de simulação termoenergéticas:

- a) Solução simultânea e integrada em que a resposta do prédio e o sistema primário e secundário estão acoplados;
- b) Intervalos de tempos definíveis pelo usuário, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente, e intervalos de tempo variável para interação entre a zona térmica e o sistema HVAC (automaticamente variável para assegurar uma solução estável);
- c) Arquivos de entrada, de saída e climáticos, que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias (até um quarto de hora) e relatórios padrões reajustáveis pelo usuário;
- d) Técnica de solução, baseada no balanço de energia para cargas térmicas prediais, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiante e convectivo na superfície interior e exterior durante cada intervalo de tempo;
- e) Condução de calor transiente através dos elementos do prédio tais como paredes, tetos, piso, etc, usando as funções de transferência por condução;
- f) Modelo de transferência de calor e massa que leva em conta absorção e eliminação de umidade (EMPDA – Effective Moisture Penetration Deth);
- g) Modelo de conforto térmico baseado na atividade, temperatura de bulbo seco interna, umidade, etc;
- h) Modelo de céu anisotrópico para cálculos mais complexos da radiação difusa sobre superfícies inclinadas;
- i) Cálculo de balanço de calor de janela que permite o controle eletrônico de persianas, balanço térmico camada por camada, o que permite o reconhecimento do comprimento de onda da energia solar absorvida pelo vidro da janela;
- j) Possui uma biblioteca versátil que dispõe de diversos modelos de janela disponível comercialmente;

- k) Controle da luz do dia, incluindo cálculos da iluminância interior, controle do brilho das luminárias e do efeito da iluminação artificial, reduzindo o aquecimento e o resfriamento;
- l) Sistemas de humidificação, ventilação e ar condicionado (HVAC) configuráveis que permitem aos usuários modelar sistemas típicos comuns e sistemas pouco modificados, sem ter que recompilar o código fonte do programa;
- m) Cálculo da poluição atmosférica que indica gás carbônico (CO₂), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO);
- n) “links” com outros ambientes de simulação populares, tais como WINDOWS, COMIS (modelo de fluxo de ar), TRNSYS e SPARK que permitem análise mais detalhada dos componentes do prédio.

O EnergyPlus apresenta uma interface amigável de fácil inserção de dados (Figura 7).

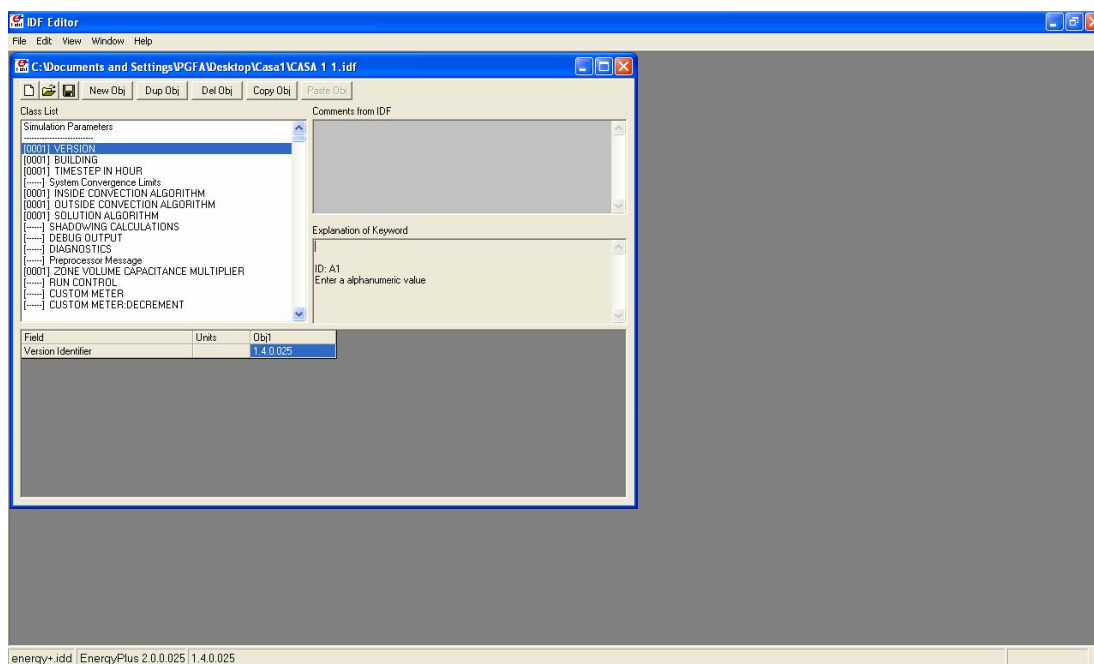


FIGURA 7 – Tela inicial de entrada de dados do EnergyPlus

Segundo Menezes (2007), o *EnergyPlus* utiliza um arquivo climático da região da edificação, com dados horários de temperatura, umidade relativa, ventos e radiação solar. O programa permite que os cálculos do balanço de calor sejam realizados em intervalos menores que 1 hora (até 1 minuto). A simulação utilizando

sistemas modulares permite a integração do cálculo do balanço de calor na zona térmica, entrada e saída de dados, possibilitando a sincronização com outras interfaces. Ainda, permite a inclusão do fluxo de ar entre múltiplos ambientes, ou simulação de energia elétrica incluindo células combustíveis, e outros sistemas de distribuição de energia.

2.10 DESKTOP RADIANCE

O Desktop Radiance incorpora o motor de cálculo do RADIANCE SYNTHETIC IMAGING SYSTEM (SIS), que é um conjunto de meia centena de módulos externos, denominados extensões.

Este programa foi desenvolvido pelo Departamento de Tecnologia de Edifícios do Lawrence Berkeley National Laboratory, Califórnia, Estados Unidos, dentro do marco de projeto Iniciativas em Sistema de Luz Natural para a Transformação do Mercado, suportado pelo Instituto Californiano de Eficiência Energética (CIEE) e financiado pela empresa Pacific Gas & Electric Company (PG&E). (CANO et al., 2002, p. 135, tradução nossa).

O Desktop Radiance é uma ferramenta que gira no ambiente Windows 95/98/NT que integra o RADIANCE SIS com o AUTOCAD R14 e AUTOCAD 2000, inclui bibliotecas de materiais, vidros, mobiliário e suporte para a iluminação artificial. O seu foco principal consiste em integrar a ferramenta com pacotes CAD populares para facilitar a adoção de estratégias de iluminação natural e eficiência energética no projeto de arquitetura.

O procedimento de cálculo adotado pelo RADIANCE SIS é o que representa o estado da arte em algoritmos de predição da LN no espaço arquitetônico. Simula a propagação da luz em um ambiente, usando as aproximações do método estocástico e, através das extensões, permite que se incluam as mais significantes contribuições, tais como as inter-reflexões difusas e fontes secundárias. Utiliza o método de Ray Tracing Reverso por motivos de eficiência, já que no método Normal para seguir os raios de luz que nunca alcançam o observador gastam-se enormes esforços computacionais, (WARD e SHAKESPEARE, 1998).

Para a inserção dos dados para a análise de iluminação natural, o programa dispõe de uma base de dados com as coordenadas geográficas, zonas horárias e a

turbidez atmosférica de diversas localidades. Esta base de dados pode ser atualizada pelo usuário.

Como no programa Lúmen-Micro, Desktop Radiance também permite apresentar os resultados na forma de tabelas e gráficos através da análise das imagens com renderizado, com as seguintes opções: níveis de iluminação pontuais diretamente sobre a imagem, curvas iso-lux sobrepostas ao renderizado e níveis de cores associadas a valores de luminância.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREAS DE ESTUDO

O estudo da viabilidade de utilização dos softwares será feito através de comparação dos resultados fornecidos pelos mesmos e os dados de temperatura e iluminância medidos in loco nas duas residências estudadas por Oliveira (2007) através do processo de simulação com base nas características físicas das residências apresentadas no tópico seguinte.

As residências denominadas de casa 01 e casa 02 estão localizadas, respectivamente, em bairros distintos, Morada do Ouro e a outra no bairro CPA III, inserido na Grande Morada da Serra (Figura 8).



FIGURA 8 – Localização das áreas de estudo
FONTE: Silva et al. (2008) e Google Earth 2007, modificados

3.1.1 Caracterização da Residência 01

A residência 01 possui uma área de aproximadamente 108m², em um terreno plano, constituída por 01 varanda frontal estreita, 01 sala de estar/jantar, cozinha, três quartos, sendo um suíte, banheiro e nos fundos uma varanda juntamente com a área de serviço.

Sua orientação é a oeste (Figura 9), ficando a sala (ambiente analisado) em posição desprivilegiada, com sua parede externa voltada nesta direção, apesar de estar protegida por uma pequena varanda de 1,50m (ver Figura 10).



FIGURA 9 – Fachada frontal da residência 01
FONTE: Oliveira (2007)

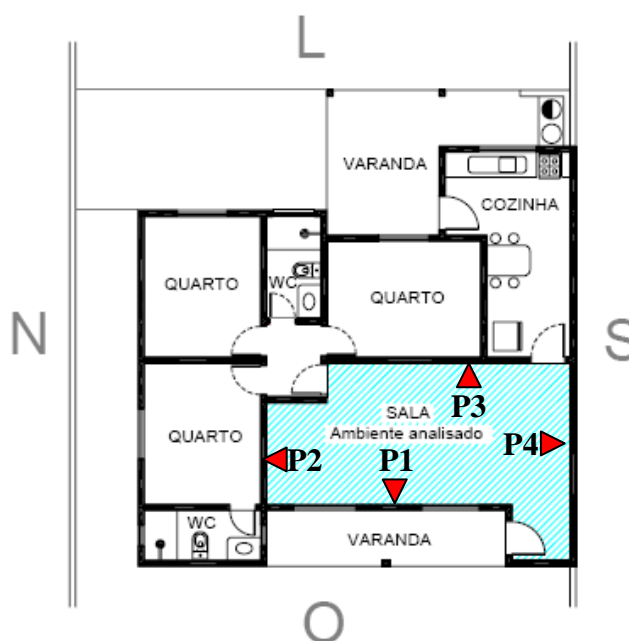


FIGURA 10 – Planta baixa da residência 01 – P1: parede 1; P2: parede 2; P3: parede 3; P4: parede 4

FONTE: Oliveira (2007) modificado

A casa 01 foi construída segundo as características apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Características construtivas da residência 01

ESPECIFICAÇÃO	RESIDÊNCIA 01
Tipo	Casa
Paredes externas	Alvenaria em tijolos de oito furos e revestida com argamassa e pintada na cor branca. Espessura = 15cm
Paredes internas	Revestida com argamassa e pintada na cor branca.
Cobertura	Telhas cerâmicas tipo plan
Forro	Forro em PVC, na cor branca. Espessura aproximada 1cm
Janelas	02 unidades – dimensões 1,50x1,20m. Tipo metálica-material ferro/vidro. Possuindo cada uma 04 folhas, sendo 02 fixas e 02 móveis(de correr)
Portas Internas	Lisa em compensado laminado(oca). Espessura 3cm
Portas Externas	Dimensões 0,80x2,10m. Tipo metálica material ferro vidro.
Piso	Revestimento cerâmico

FONTE: Oliveira (2007) modificado

Os ocupantes fazem pleno uso da edificação, em horários intercalados, durante todo o dia e fins de semana, se utilizando de ventiladores para obterem conforto térmico interno nos horários mais quentes. Durante à noite é utilizado o ar condicionado somente durante os meses mais quentes.

3.1.2 Caracterização da residência 02

A edificação está inserida em um terreno plano de 10x20m, sendo sua área construída de aproximadamente 77m², cujas partes são garagem, sala de estar, cozinha (ambiente analisado), quarto, sala de estudos e banheiro. O ambiente analisado possui suas paredes externas voltadas para o noroeste recebendo durante quase todo o ano a radiação solar do período vespertino.

Em relação ao seu maior eixo, possui orientação nordeste-sudoeste (Figura 11), ficando o ambiente analisado em posição desprivilegiada, à noroeste e sem qualquer proteção solar (Figura 12).



FIGURA 11 – Fachada frontal da residência 02
FONTE: Oliveira (2007)



FIGURA 12 – Planta baixa da residência 02– P1: parede 1; P2: parede 2; P3: parede 3; P4: parede 4
FONTE: Oliveira (2007) modificado

A residência foi construída segundo as características apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 – Características construtivas da residência 02

ESPECIFICAÇÃO	RESIDÊNCIA 02
Tipo	Casa
Paredes externas	Alvenaria em tijolos de oito furos e revestida com argamassa e pintada na cor amarela. Espessura = 15cm
Paredes internas	Parte revestida com argamassa e pintada na cor branca e outra azulejada.
Cobertura	Telhas cerâmicas tipo plan
Forro	Forro em madeira, envernizado. Espessura aproximada 1cm
Janelas	02 unidades – Sendo: <ul style="list-style-type: none"> • 01 de dimensões 1,00x1,00m. Tipo metálica- material ferro/vidro. Possuindo 02 folhas, sendo 02 fixas e 02 móveis(de correr) • 01 de dimensões 1,00x0,50m. Tipo metálica – material ferro/vidro. Possuindo 02 folhas basculantes maxiar
Portas Internas	Não possui
Portas Externas	Dimensões 0,80x2,10m. Tipo metálica material ferro vidro.
Piso	Revestimento cerâmico

FONTE: Oliveira (2007) modificado

O morador se utiliza desta residência plenamente apenas no período noturno, permanecendo a casa durante todo o dia fechada. A permanência é maior nos fins de semana, utilizando ventiladores para obter conforto térmico interno nos horários mais quentes.

3.2 COLETA DE DADOS

Foram realizadas medições *in loco* de temperatura no interior das habitações por Oliveira (2007) definidas em quatro períodos do ano: primavera, no ano de 2006;

e verão, outono e inverno, no ano de 2007; durante 15 dias consecutivos em cada período.

3.3 ENERGYPLUS

3.3.1 Passos da Simulação

Para de realizar a simulação foram seguidos os seguintes passos:

- a) definição do problema: proposta dos objetivos de acordo com o a necessidade, neste caso é a busca por software que possa reproduzir o comportamento de residências unifamiliares quanto ao conforto térmico e lumínico;
- b) planejamento do projeto: definição dos locais de estudo, duas residências estudadas por Oliveira (2007) e as ferramentas que serão utilizadas para atingir os objetivos, os programas computacionais *EnergyPlus* e Desktop Radiance. Faz parte deste item também a definição de metas a serem atingidas;
- c) formulação do modelo conceitual: através da revisão bibliográfica, embasar o conhecimento teórico para facilitar o entendimento no uso da ferramenta para simulação e seus resultados;
- d) pré-simulação: conhecer e caracterizar o ambiente que será simulado, modelando-o fielmente, para que a resposta seja precisa e
- e) análise: avaliar a concordância dos resultados obtidos pelo o *EnergyPlus* e Desktop Radiance com os medidos in loco.

3.3.2 Entrada de Dados

A entrada de dados em um novo arquivo é feita na tela apresentada na Figura 13.

Nela são inseridos dados como: versão do software; características da construção, tipo de terreno, eixo norte, distribuição solar; tipo de algoritmo a ser utilizado; período da simulação; coordenadas de localização.

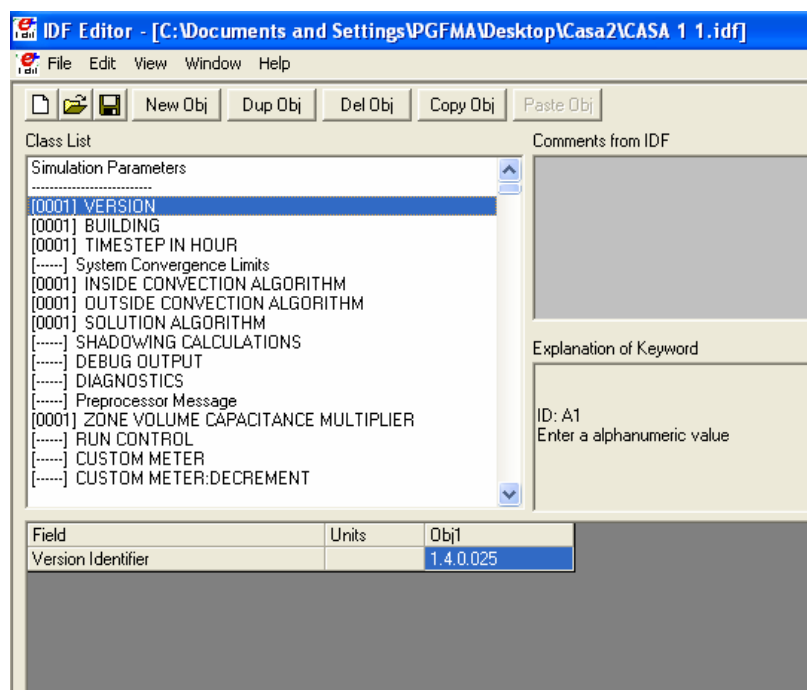


FIGURA 13 – Tela de entrada de dados no EnergyPlus

Nesta etapa também são inseridos dados das características construtivas das edificações. Tais características estão apresentadas na Tabela 3 e Tabela 4.

TABELA 3 – Propriedades físicas e térmicas dos elementos construtivos da residência 01

Nome	Reboco/ Argamassa	Tijolo	Concreto	Madeira	Metal	Vidro	Telha de Barro	PVC	Cerâmica
Rugosidade	Liso	Rugoso	Meio Rugoso	Meio Liso	Liso	Liso	Rugoso	Liso	Liso
Espessura [m]	0,025	0,1	0,3	0,03	0,025	0,02	0,08	0,01	0,01
Condutividade* [W/m-K]	1,15	0,7	1,75	0,12	230	1	0,7	2	1,05
Densidade* [kg/m ³]	2100	2000	2400	350	2700	2500	1300	1200	2000
Calor Específico* [J/kg-K]	1000	920	1000	2300	880	840	920	1254	920
Absortância Térmica	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,2	0,9
Absortância Solar*	0,5	0,8	0,8	0,78	0,5	0,25	0,8	0,2	0,75
Absortância Visível	0,2	0,76	0,65	0,78	0,2	0,78	0,7	0,2	0,7

* dados retirados da norma NBR15220 (2007)

TABELA 4 – Propriedades físicas e térmicas dos elementos construtivos da residência 02

Nome	Reboco/ Argamassa	Tijolo	Concreto	Madeira	Metal	Vidro	Telha de Barro	Cerâmica
Rugosidade	Liso	Rugoso	Meio Rugoso	Meio Liso	Liso	Liso	Rugoso	Liso
Espessura [m]	0,025	0,1	0,3	0,01	0,025	0,02	0,08	0,01
Condutividade* [W/m-K]	1,15	0,7	1,75	0,29	230	1	0,7	1,05
Densidade* [kg/m ³]	2100	2000	2400	350	2700	2500	1300	2000
Calor Específico* [J/kg-K]	1000	920	1000	1340	880	840	920	920
Absortância Térmica	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Absortância Solar*	0,5	0,8	0,8	0,78	0,5	0,25	0,8	0,75
Absortância Visível	0,2	0,76	0,65	0,78	0,2	0,78	0,7	0,7

* dados retirados da norma NBR15220 (2007)

3.3.3 Declaração da Geometria da Residência

O Programa E+ entende as superfícies declaradas em forma de coordenadas no plano cartesiano. Na declaração, as coordenadas dos vértices de cada superfície são lançadas no software de uma forma sistemática (Figura 14), para que haja o entendimento por parte do programa.

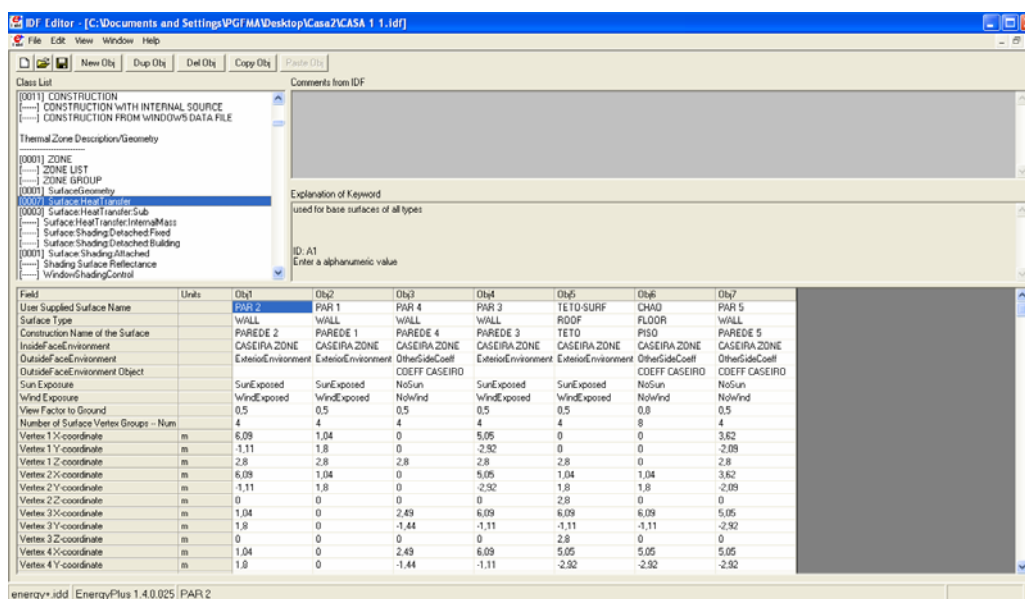


FIGURA 14 – Tela de entrada das características geométricas da edificação no EnergyPlus

Para verificação das coordenadas lançadas, pode-se pedir que seja gerado um arquivo em formato DFX, que pode ser aberto em AutoCad, para visualizar as superfícies declaradas e detectar eventuais erros, seja eles na digitação, seja eles na definição.

3.4 DESKTOP RADIANCE

3.4.1 Descrição dos Parâmetros de Simulação

Antes de iniciar uma simulação neste software é necessária a montagem de um modelo 3D da residência, neste trabalho foi utilizado o AutoCAD 2000.

Na realização da simulação realizada com Desktop Radiance foram utilizados dados de localização mostrados na Tabela 5.

TABELA 5 – Dados de localização da cidade de Cuiabá

Cuiabá	
Latitude [°C]	-15,65 NS
Longitude [°C]	-56,10 WE
Fuso horário [h]	-4
Altitude [m]	182

3.4.2 Modelagem dos Ambientes

Na modelagem das duas edificações foram utilizados os dados das características geométricas fornecidos por Oliveira (2007). A Figura 15 mostra o modelo do ambiente analisado da casa 01.

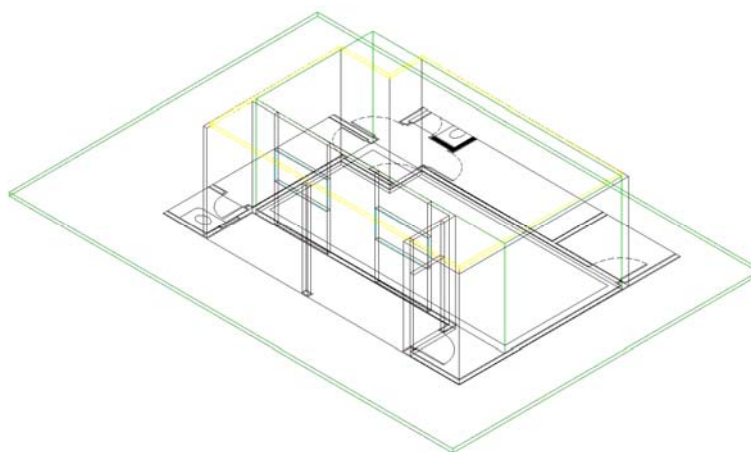


FIGURA 15 – Modelagem da residência 01 utilizada no Desktop Radiance

3.4.3 Propriedades Óticas dos Materiais Aplicados

No Desktop Radiance, é possível lançar as propriedades óticas dos materiais fornecidas pelo próprio programa. As propriedades foram escolhidas de acordo com a característica de cada material e estão relacionadas nas Tabelas 6.

TABELA 6 – Refletância e transmitância dos materiais da residência 01 fornecidos pelo Desktop Radiance

Material	Refletância	Transmitância
Parede – Tinta branca	84,24%	-
Forro de PVC cor branca	85,77%	-
Piso - Revestimento cerâmico	93,08%	-
Janelas	7,80%	84,10%
Entorno	20,00%	-

3.4.4 Dados Geográficos do Sítio da Simulação

Assim como no EnergyPlus, o Desktop Radiance possibilita a inserção de dados geográficos especificando a latitude, longitude e meridiano padrão (Figura 16).

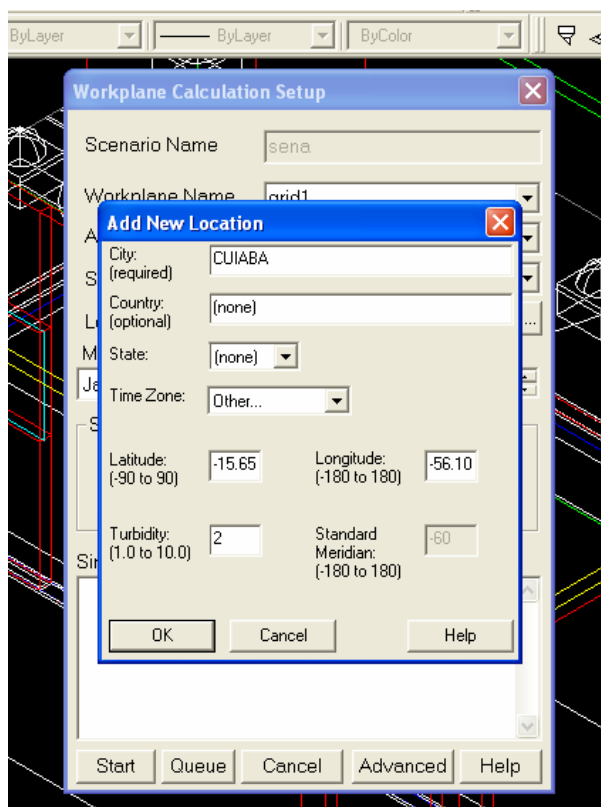


FIGURA 16 – Tela de entrada dos dados de localização da edificação no Desktop Radiance

3.5 DADOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS

Para a simulação do EnergyPlus foi utilizado o arquivo climático IWEC de Cuiabá, que é composto por 3 arquivos nas extensões “.ddy”, “.epw” e “.stat”.

O arquivo com extensão “.ddy” contém os dados de localização de Cuiabá, além dos dados de temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, umidade relativa e demais dados climáticos necessários para a descrição dos dias típicos de verão e de inverno.

O arquivo em extensão “.stat” contém:

- a) Temperaturas de bulbo seco máximas e mínimas de cada mês, identificando o dia e hora ocorrida.
- b) Temperatura horária média de um dia típico de cada mês.
- c) Indicações mensais de precipitação/umidade (kPa).
- d) Valores máximo e mínimos mensais da velocidade do vento (m/s).
- e) Direção média do vento, de acordo com a orientação.
- f) Valores mensais de irradiação solar direta média, direta máxima e difusa média; etc..

Por fim, o arquivo com extensão “.epw” é o mais completo. É formado por todos os dados climáticos relatados acima declarados hora a hora ao longo de um ano completo (365 dias – 8760 horas). O arquivo climático utilizado nas simulações do software EnergyPlus refere-se ao clima da cidade de Cuiabá fornecido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos – Eficiência Energética e Energia Renovável. O acesso ao arquivo pode ser feito através da Internet no seguinte endereço: www.eere.energy.gov.

3.6 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os materiais e equipamentos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram:

- a) Luxímetro, utilizado dados de iluminância obtidos por Oliveira (2007) com este equipamento.
- b) Radiômetro, utilizado dados de temperatura obtidos por Oliveira (2007) com este equipamento.

- c) Software EnergyPlus, para simulação de temperaturas superficiais internas.
- d) Software Desktop Radiance, para simulações de iluminância.
- e) Software Excel, utilizado para as análises estatísticas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS UTILIZANDO O ENERGYPLUS

Para cada período, as superfícies das paredes do ambiente estudado mostraram resultados diferentes devido à quantidade de calor disponível diferenciada em cada período.

Nesta dissertação a classificação de melhor resultado se refere à menor diferença encontrada entre as temperaturas média medidas e as simuladas pelos softwares e a classificação de pior resultado se refere à maior diferença.

4.1.1 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01

A maior diferença encontrada entre as temperaturas médias medidas e as simuladas pelo software, para a parede 1, foi de 2,05°C e a diferença média foi de 1,12°C (Figura 17a). Embora seja uma parede externa, recebe menor incidência de radiação solar direta pelo posicionamento da residência em relação ao norte fazendo com que seus resultados sejam melhores do que os da parede 4 (Figura 17d).

Para a parede 2, a diferença média foi de 0,76°C e a maior diferença entre as temperaturas médias horárias foi de 2,31°C (Figura 17b). A parede 2 encontra-se próxima ao banheiro e não recebe influência do entorno da residência.

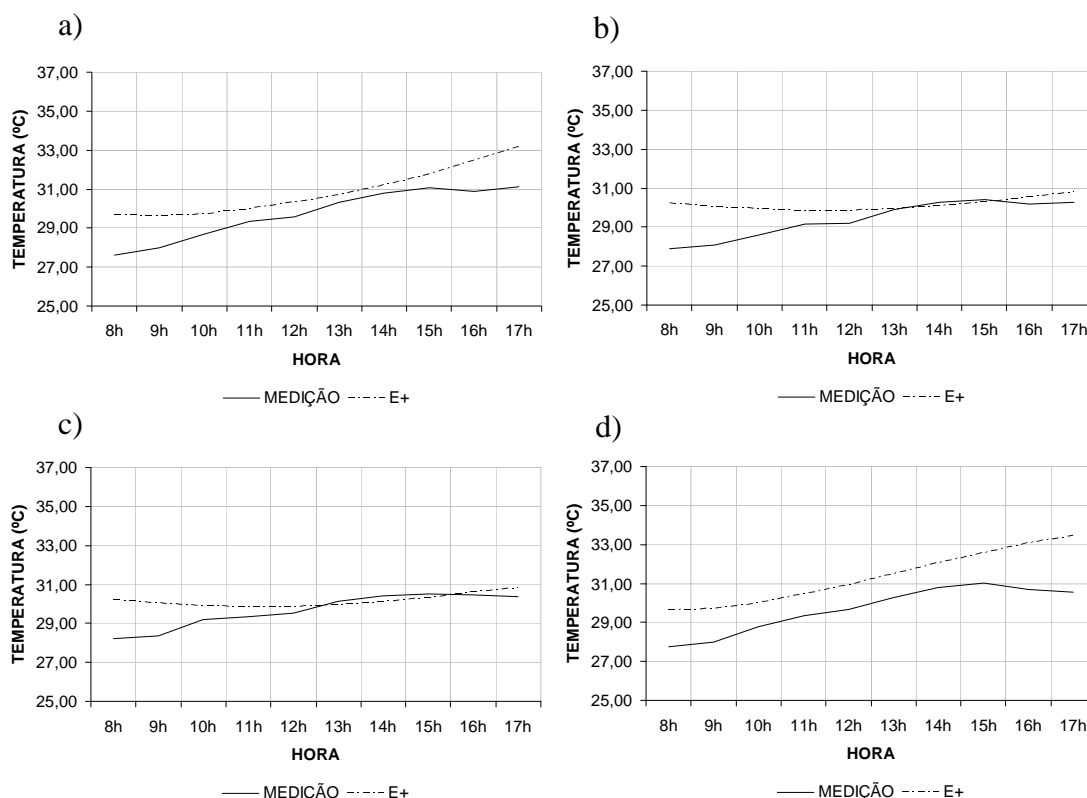


FIGURA 17 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

Dentre as superfícies analisadas, a da parede 3 é a mais interna, apresentando diferenças menores entre as temperaturas com melhor resultado, sendo 2,00°C a maior diferença entre as temperaturas médias e 0,52°C a diferença média (Figura 17c), o que foi considerado o melhor resultado obtido nas avaliações, visto que estes resultados demonstraram as menores diferenças obtidas. Esta parede se encontra ao lado da cozinha e próximo ao banheiro, e não recebe influência do meio externo à residência.

A parede 4, Figura 17d, apresentou uma diferença média de 1,65°C e maior diferença entre as temperaturas foi de 2,88°C, podendo ser considerado o pior resultado. Esta parede dentre todas é a que recebe, durante o dia, maior incidência solar direta por ser uma parede externa à residência e recebe influência direta do entorno da residência.

4.1.2 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01

Este é o período em que a residência recebe a maior incidência de radiação solar, o que influencia diretamente as paredes externas à residência.

A maior diferença encontrada entre as temperaturas médias, medidas e as simuladas pelo software, para a parede 1, foi de 2,97°C e a diferença média foi de 1,18°C (Figura 18a).

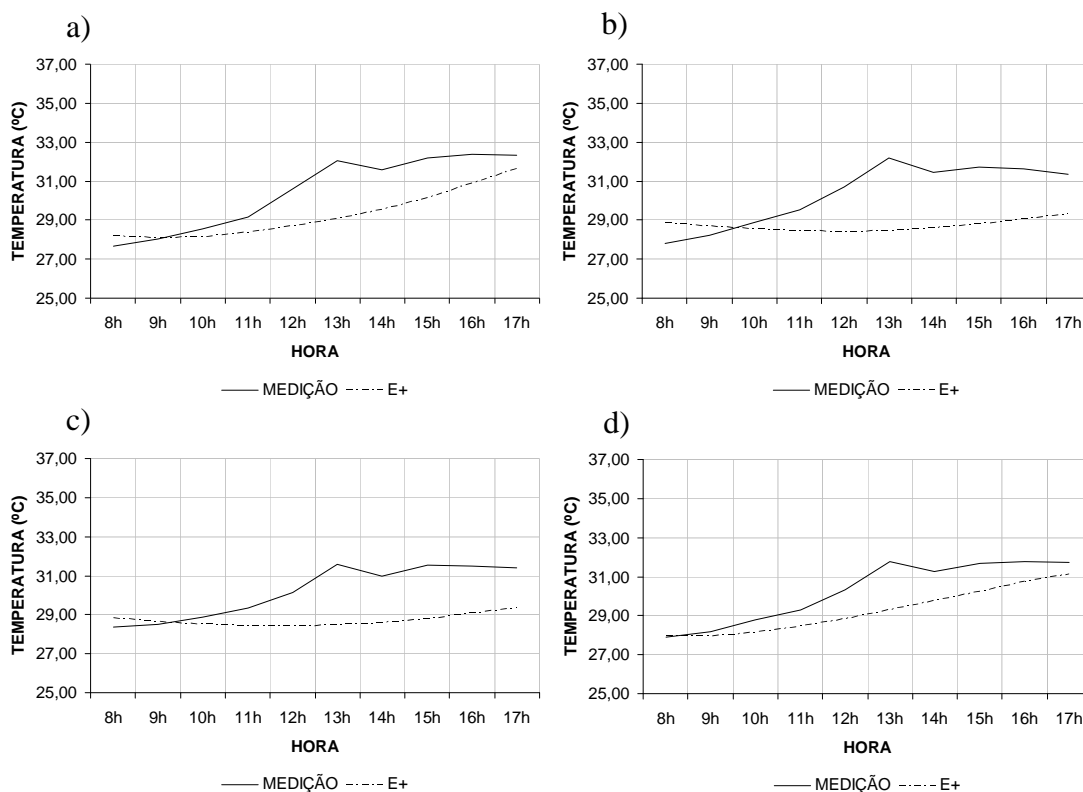


FIGURA 18 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

Assim como na primavera, a parede 3 (Figura 18c) obteve melhores resultados do que a parede 2 (Figura 18b), sendo 3,12°C e 3,71°C as maiores diferenças entre as temperaturas médias, e 1,52°C e 1,63°C as diferenças médias, respectivamente.

Segundo Nogueira (2007) e Xavier (2008), as paredes externas à residência são as que apresentam os melhores resultados de simulação para o verão. A parede 4, Figura 18d, também apresentou o melhor resultado com uma diferença média de 1,03°C e maior diferença entre as temperaturas médias de 2,50°C.

4.1.3 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01

A maior diferença encontrada entre as temperaturas médias, medidas e as simuladas pelo software, para a parede 1, foi de 3,38°C e a diferença média foi de 1,05°C (Figura 19a), podendo ser considerado o pior resultado.

Para a parede 2, a diferença média foi de 0,82°C e a maior diferença entre as temperaturas médias horárias foi de 3,39°C (Figura 19b).

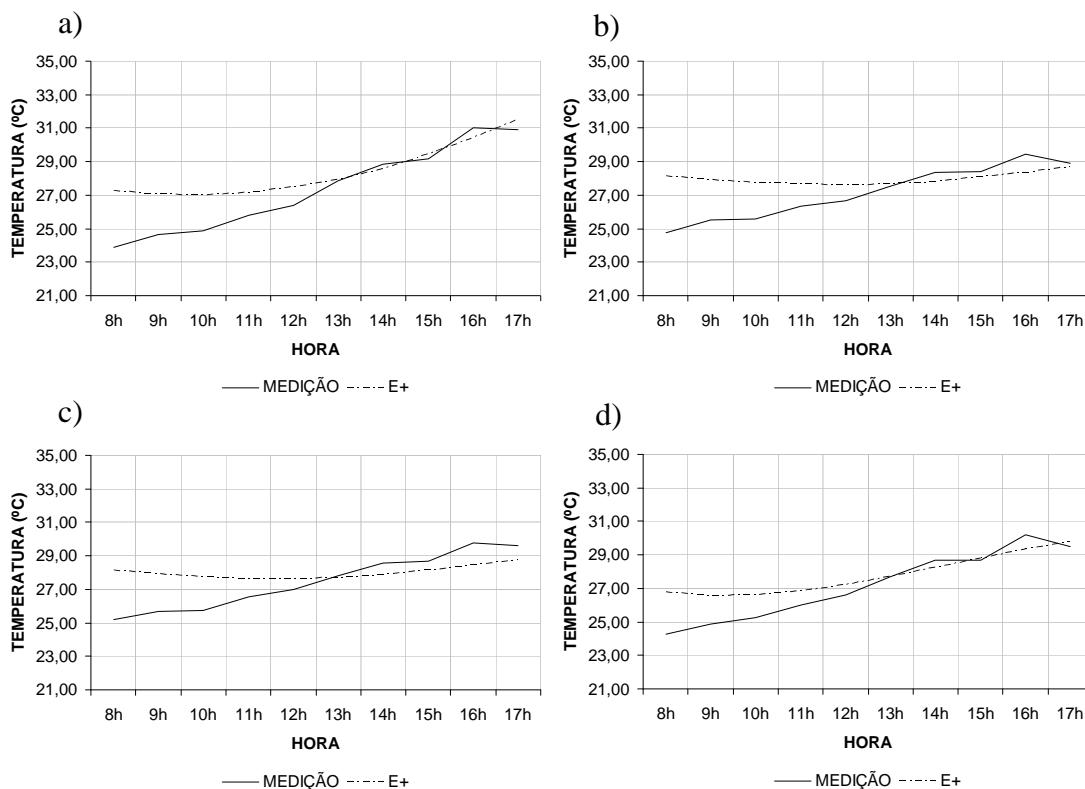


FIGURA 19 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

Dentre as superfícies analisadas, a da parede 3 foi a que obteve o melhor resultado, sendo 2,93°C a maior diferença entre as temperaturas médias e 0,53°C a diferença média (Figura 19c), sendo seu comportamento, com relação a diferença média, similar ao período da primavera.

A parede 4, Figura 19d, apresentou uma diferença média de 0,60°C e maior diferença entre as temperaturas de 2,49°C.

4.1.4 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01

O inverno foi o que apresentou os piores resultados dentre todos os períodos analisados.

Dentre as superfícies analisadas, a da parede 1 foi a que obteve o melhor resultado, sendo 6,46°C a maior diferença entre as temperaturas médias e 4,38°C a diferença média (Figura 20a).

Para a parede 2, a diferença média foi de 4,60°C e a maior diferença entre as temperaturas médias horárias foi de 6,43°C (Figura 20b), sendo estes resultados semelhantes aos da parede 3, Figura 20c, que apresentou a maior diferença encontrada entre as temperaturas médias de 6,60°C e a diferença média de 4,73°C.

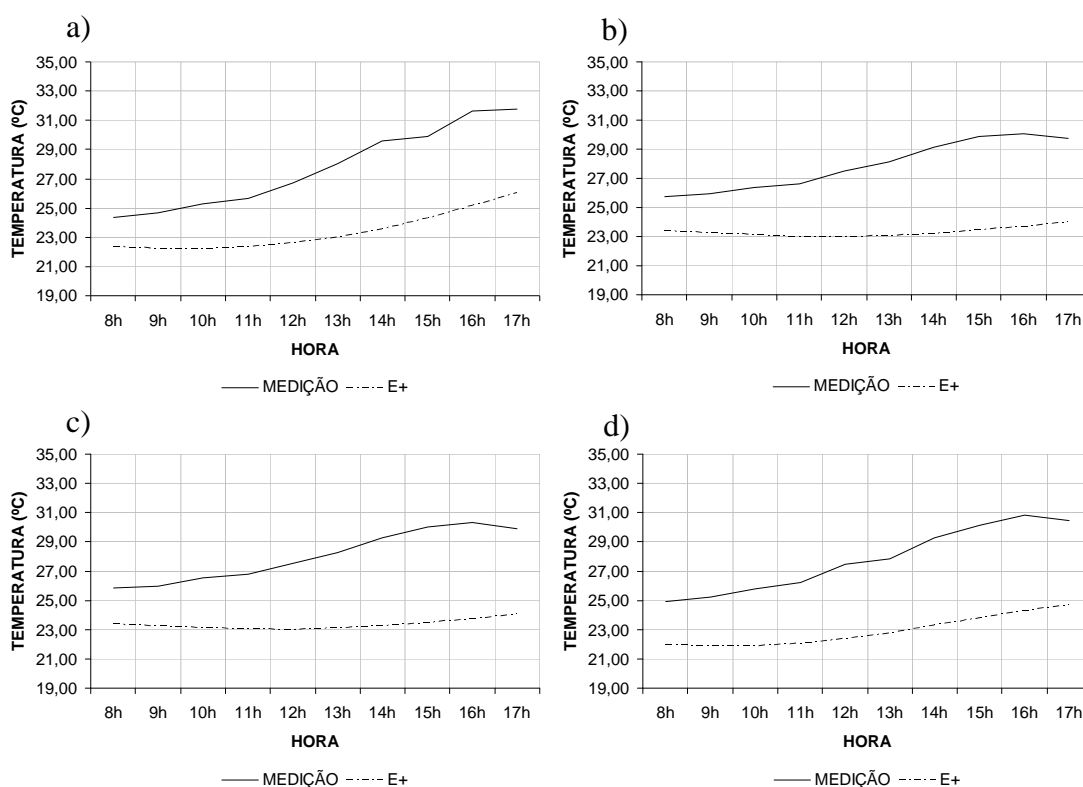


FIGURA 20 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

Já a parede 4, Figura 20d, apresentou uma diferença média de 4,93°C e a maior diferença entre as temperaturas de 6,55°C, podendo ser considerado o pior resultado.

4.1.5 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 02

A maior diferença encontrada entre as temperaturas médias medidas e as simuladas pelo software, para a parede 1, foi de 4,41°C e a diferença média foi de 2,51°C (Figura 21a).

Para a parede 2, a diferença média foi de 2,45°C e a maior diferença entre as temperaturas médias horárias foi de 3,96°C (Figura 21b).

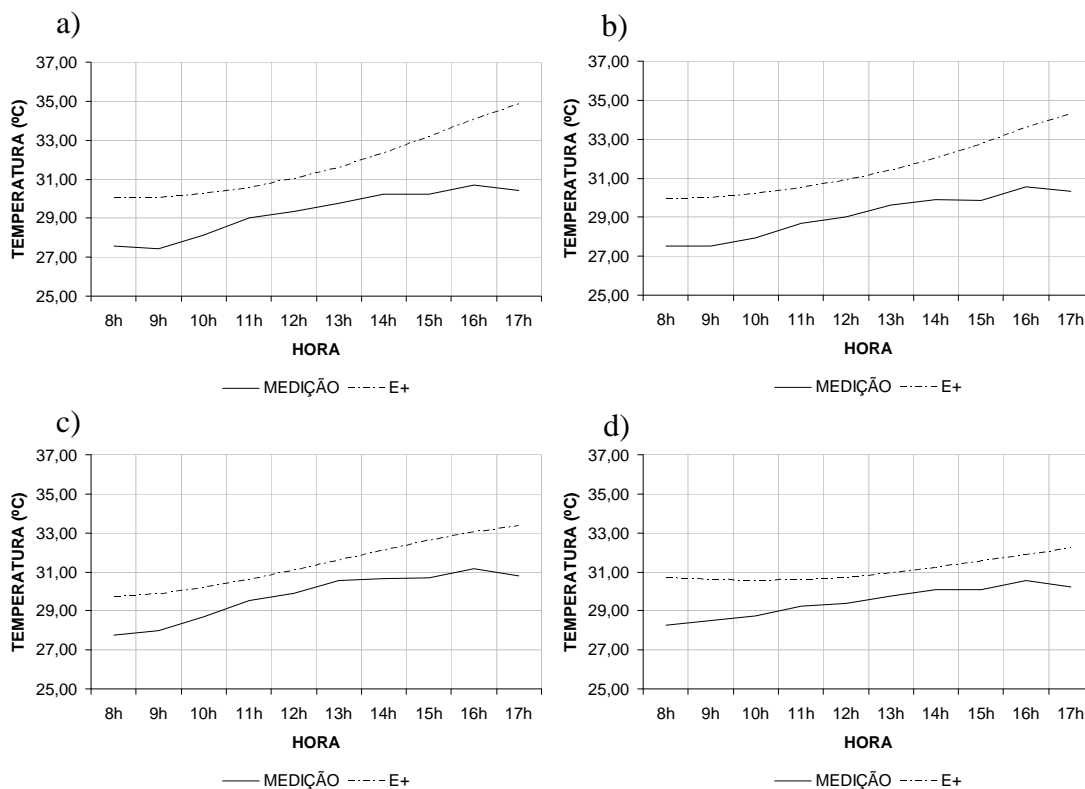


FIGURA 21 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

Dentre as superfícies analisadas, a da parede 3 é a mais interna, apresentando a maior diferença entre as temperaturas médias de 2,59°C e a diferença média de 1,64°C (Figura 21c). A parede 3 encontra-se próxima ao banheiro.

A parede 4, Figura 21d, apresentou resultados próximos aos da parede 4 da casa 01 para o mesmo período com uma diferença média de 1,61°C e maior diferença entre as temperaturas foi de 2,42°C, podendo ser considerado o melhor resultado.

4.1.6 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 02

Este é o período em que a residência recebe a maior incidência de radiação solar, o que influencia diretamente as paredes externas à residência.

A maior diferença encontrada entre as temperaturas médias, medidas e as simuladas pelo software, para a parede 1, foi de 3,37°C e a diferença média foi de 1,84°C (Figura 22a).

A parede 2 foi a que obteve o melhor resultado, sendo 1,41°C a maior diferença entre as temperaturas médias e 0,01°C a diferença média (Figura 22b).

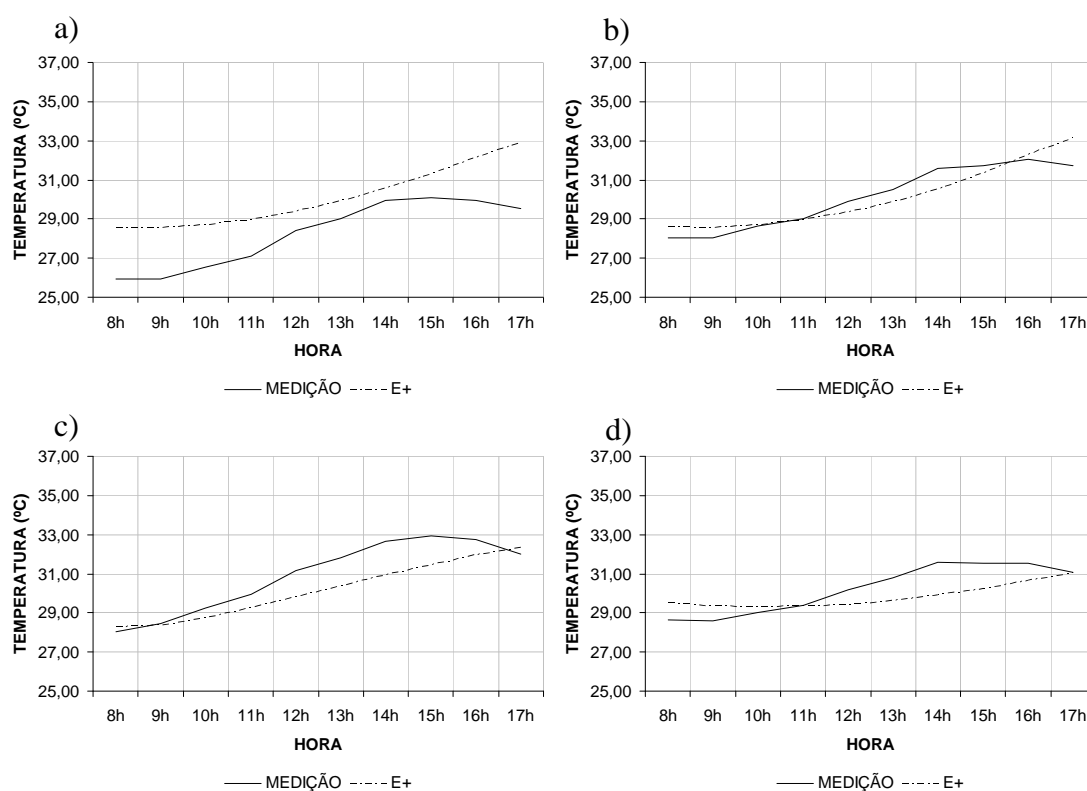


FIGURA 22 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

Para a parede 3, a diferença média foi de 0,77°C e a maior diferença entre as temperaturas médias horárias foi de 1,48°C (Figura 22c).

Já a parede 4, Figura 22d, apresentou uma diferença média de 0,40°C e a maior diferença entre as temperaturas de 1,68°C.

4.1.7 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 02

A maior diferença encontrada entre as temperaturas médias, medidas e as simuladas pelo software, para a parede 1, foi de 1,74°C e a diferença média foi de 0,97°C (Figura 23a), podendo ser considerado o melhor resultado.

Para a parede 2, a diferença média foi de 2,43°C e a maior diferença entre as temperaturas médias horárias foi de 3,52°C (Figura 23b).

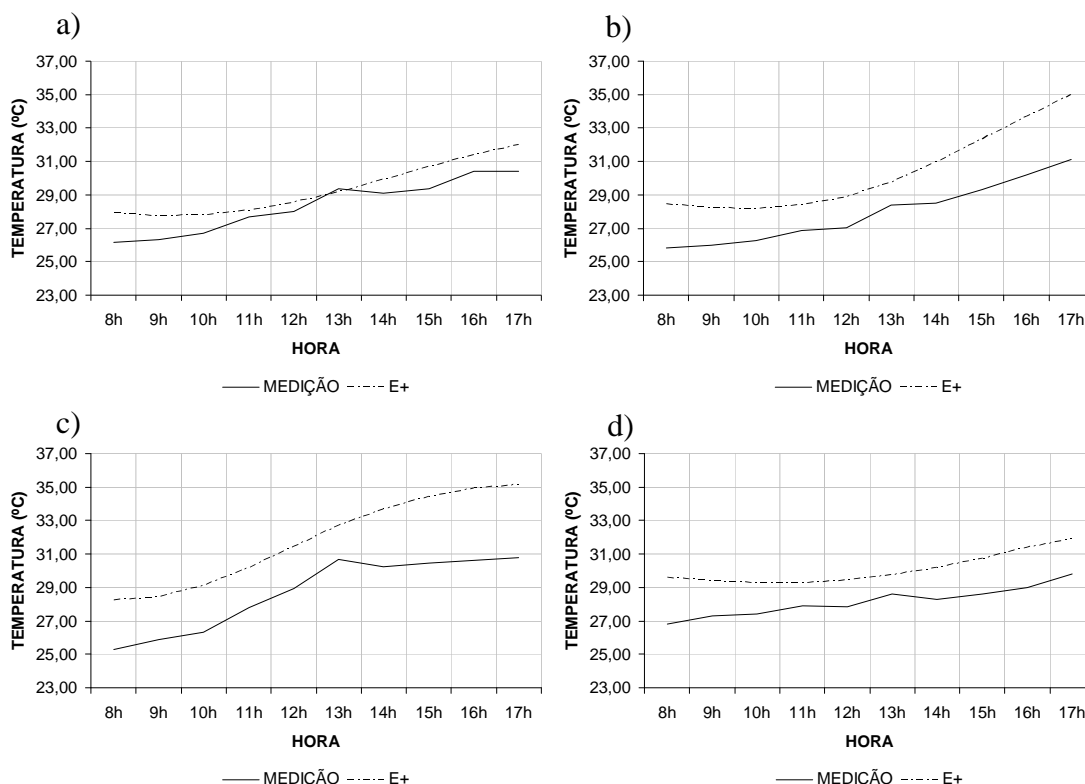


FIGURA 23 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

A parede 3 apresentou os seguintes resultados: 4,33°C para a maior diferença entre as temperaturas médias e 3,12°C para a diferença média (Figura 23c).

Enquanto que a parede 4, Figura 23d, apresentou uma diferença média de 1,93°C e a maior diferença entre as temperaturas de 2,81°C.

4.1.8 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 02

As paredes 1 e 4 apresentaram comportamentos semelhantes aos das paredes 1 e 4 da casa 01 para o mesmo período. Tanto a parede 1 da casa 02 como as paredes 1

e 4 da casa 01 são paredes externas. Os resultados para as paredes 1 e 4 da casa 02 foram, respectivamente, 6,92°C e 6,13°C para a maior diferença entre as temperaturas médias e 4,78°C e 4,28°C para a diferença média (Figura 24a e Figura 24d).

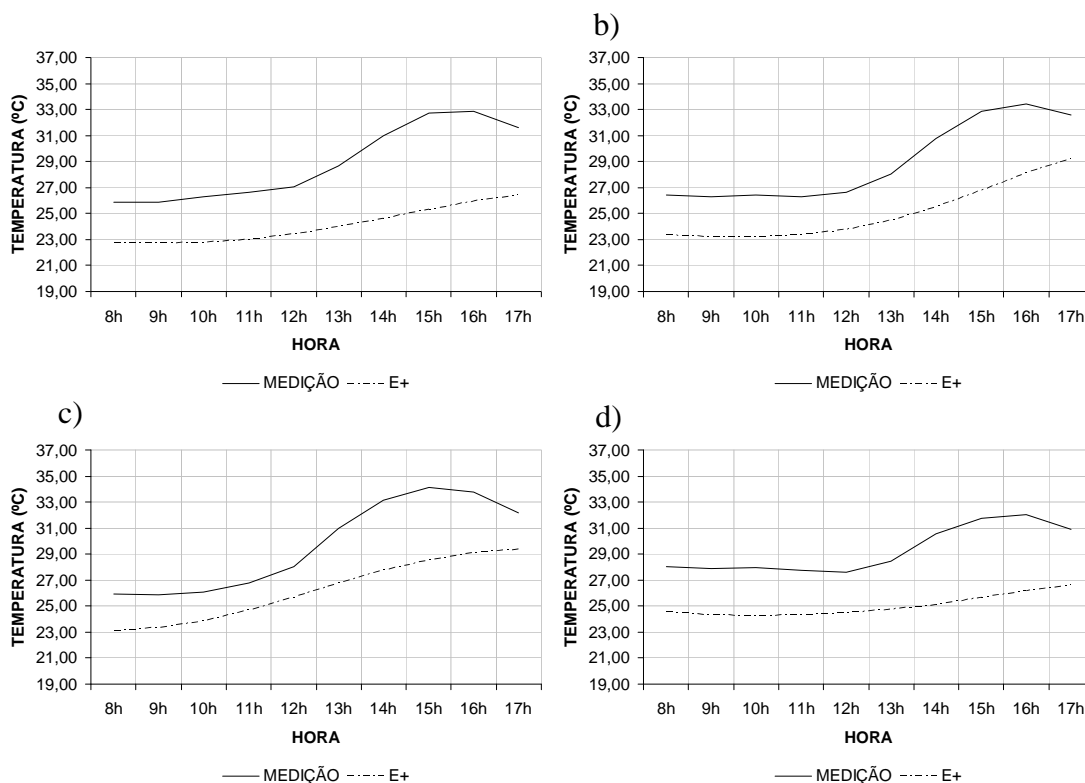


FIGURA 24 – Temperatura média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

Já as parede 2 e 3 (Figuras 24b e 24c) obtiveram resultados próximos entre si com relação a diferença média, 3,88°C e 3,46°C respectivamente. Para a maior diferença entre as temperaturas médias os resultados foram de 6,09°C para a parede 2 e de 5,56°C para a parede 3.

Pereira (2008) também encontrou diferenças grandes ao comparar os dados medidos com os simulados pelo EnergyPlus.

4.2 ANÁLISE QUALITATIVA DAS SIMULAÇÕES COM O ENERGYPLUS

4.2.1 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01

As linhas de tendência de medição das paredes 1 e 4, Figuras 25a e 25 d, apresentaram inclinações semelhantes e em concordância com as linhas de tendência de simulação.

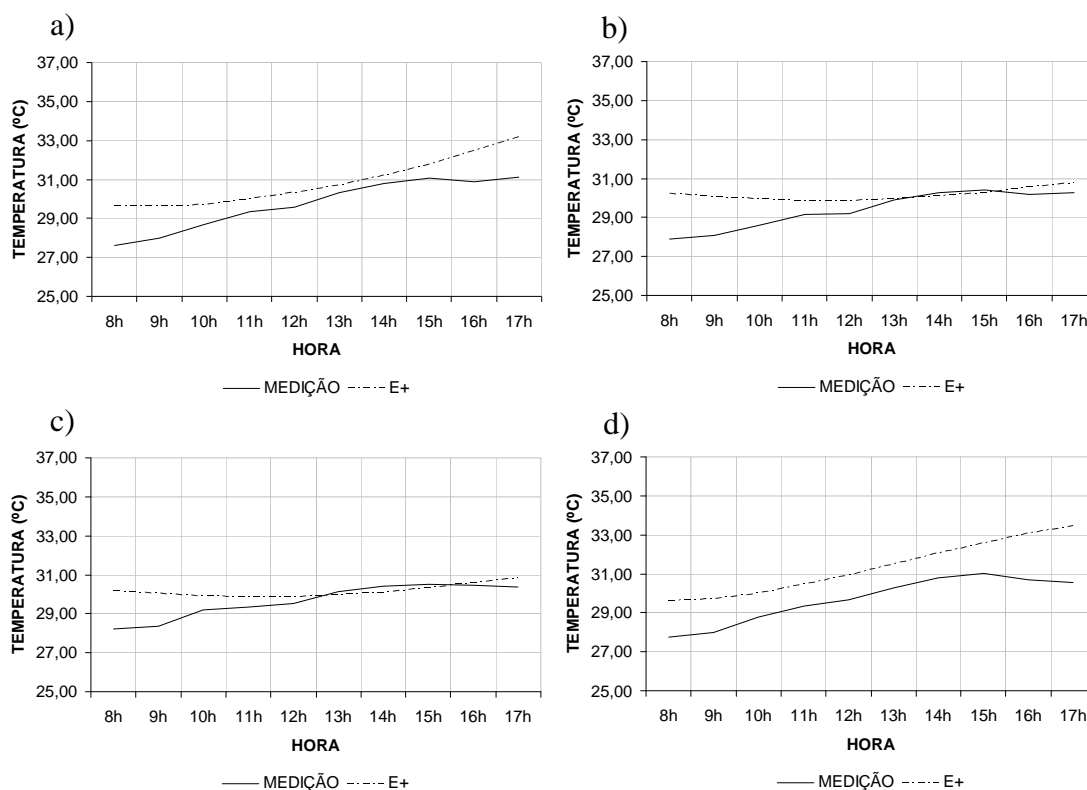


FIGURA 25 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

Já as paredes 2 e 3, Figuras 25b e 25c, também apresentaram linhas de tendências de medição com inclinações semelhantes, porém as inclinações das linhas de tendência de simulação foram menores, mas com o mesmo sentido crescente ao longo do dia.

4.2.2 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01

Com relação às linhas de tendência as paredes mostraram comportamento semelhante aos do período da primavera.

As linhas de tendência de medição das paredes 1 e 4, Figuras 26a e 26d, apresentaram inclinações semelhantes e em concordância com as linhas de tendência de simulação.

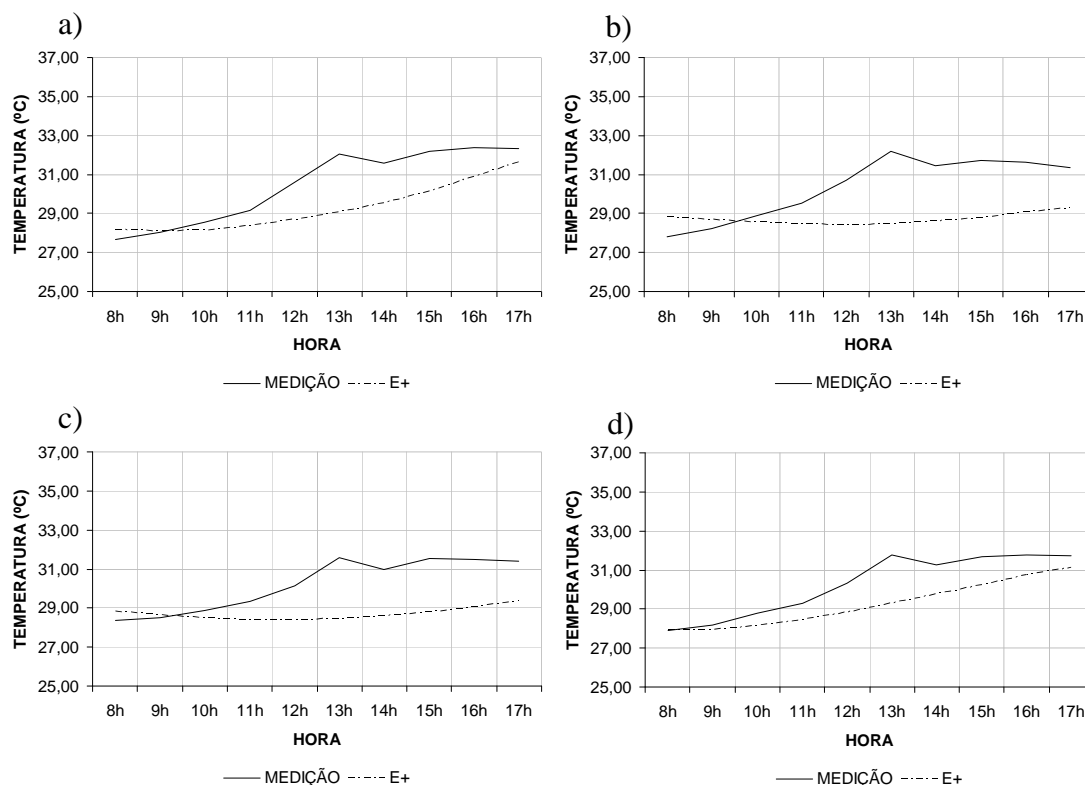


FIGURA 26 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

Enquanto que as paredes 2 e 3, Figuras 26b e 26c, também apresentaram linhas de tendências de medição com inclinações semelhantes, porém as inclinações das linhas de tendência de simulação foram menores mas com o mesmo sentido crescente ao longo do dia.

4.2.3 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01

Neste período todas as paredes demonstraram inclinações semelhantes nas linhas de tendência de medição.

Já as linhas de tendência de simulação seguiram o mesmo padrão dos períodos anteriores, tendo as paredes 1 e 4, Figuras 27a e 27d, mais próximas das linhas de tendência de medição do que as paredes 2 e 3, Figuras 27b e 27c.

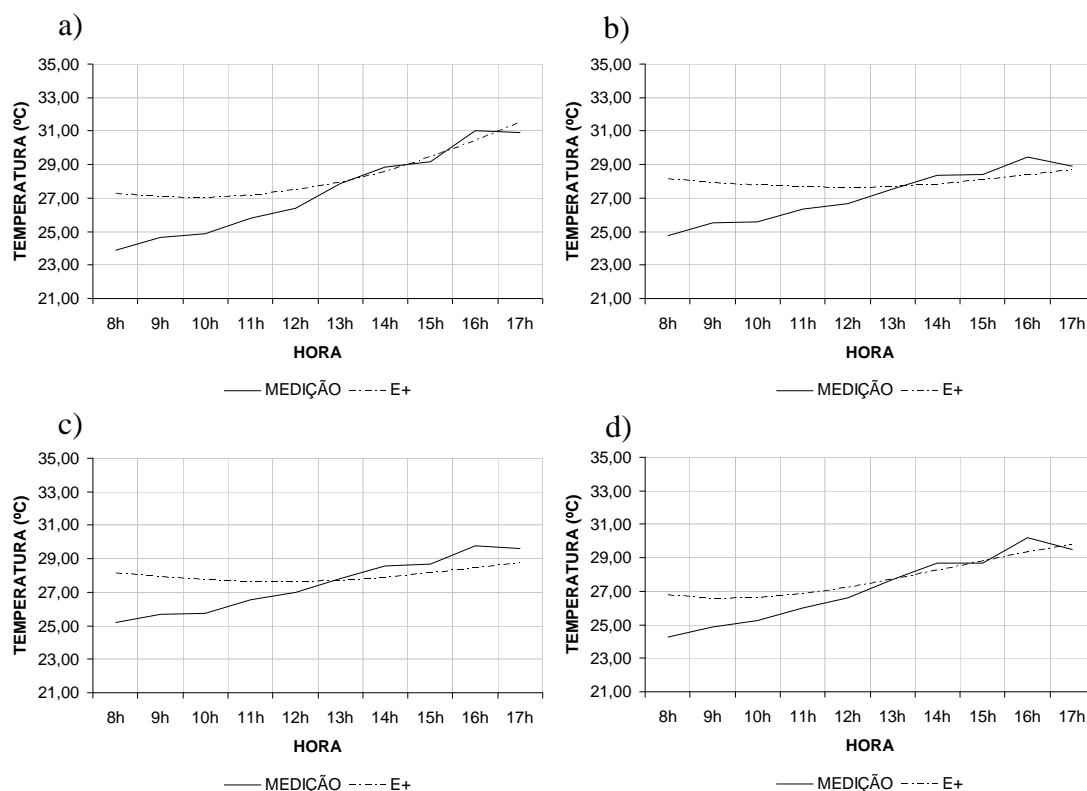


FIGURA 27 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

Tanto as inclinações das linhas de tendência de simulação das paredes 1 e 4 (Figuras 27^a e 27^d) quanto as das paredes 2 e 3 (Figuras 27^b e 27^c) foram menores do que suas linhas de tendência de medição, porém com o mesmo sentido crescente ao longo do dia.

4.2.4 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01

Embora os resultados das temperaturas de simulação das paredes estejam distanciados dos resultados das temperaturas de medição, suas linhas de tendência de tanto de medição quanto de simulação seguiram o mesmo comportamento.

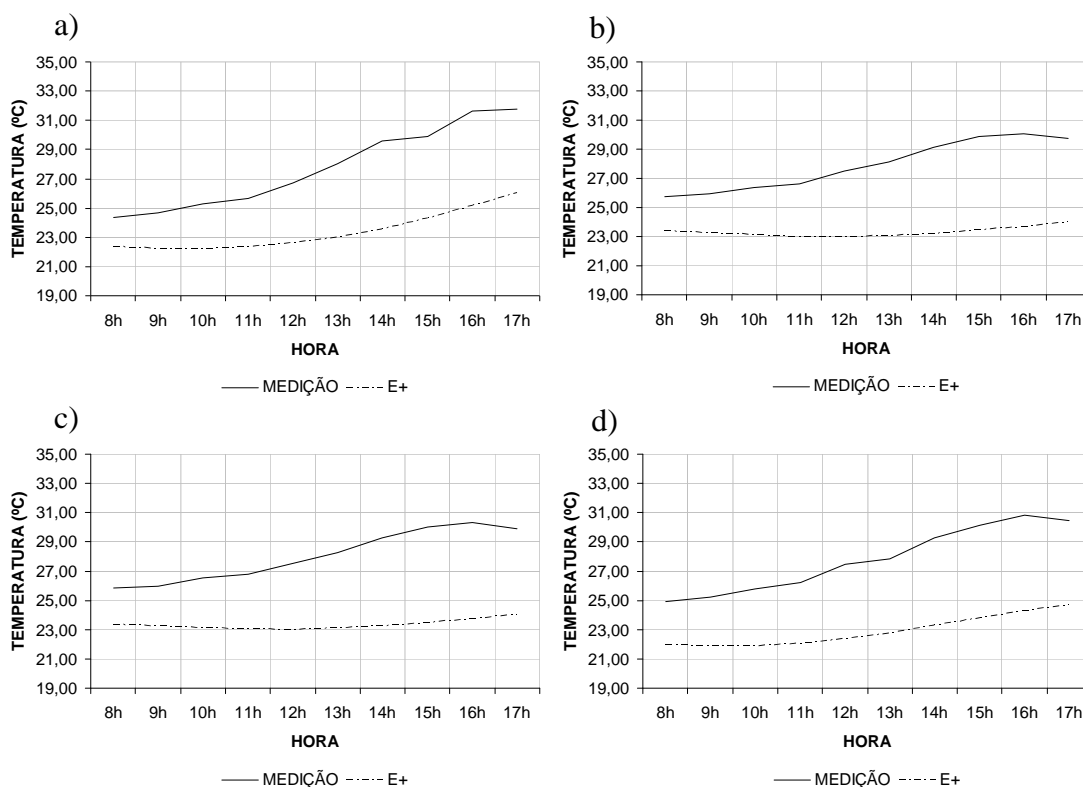


FIGURA 28 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

As linhas de tendência de simulação das paredes 1 e 4, Figuras 28^a e 28^d, com relação à inclinação das linhas, obtiveram comportamento mais próximos das linhas de tendência de medição do as linhas de tendência de simulação das paredes 2 e 3 (Figuras 28^b e 28^c).

4.2.5 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 02

As linhas de tendência para a parede 1, Figura 29a, mostram que o software identifica o aumento progressivo da temperatura superficial da parede durante o dia. Da mesma forma as demais paredes seguem o mesmo padrão.

A parede 1 é externa a edificação e sua linha de tendência simulada acompanha a inclinação da linha de tendência da medição, Figura 29a.

As paredes 2 e 3, Figuras 29b e 29c, apresentaram linhas de tendências de medição com inclinações semelhantes em concordância com as linhas de tendência de simulação.

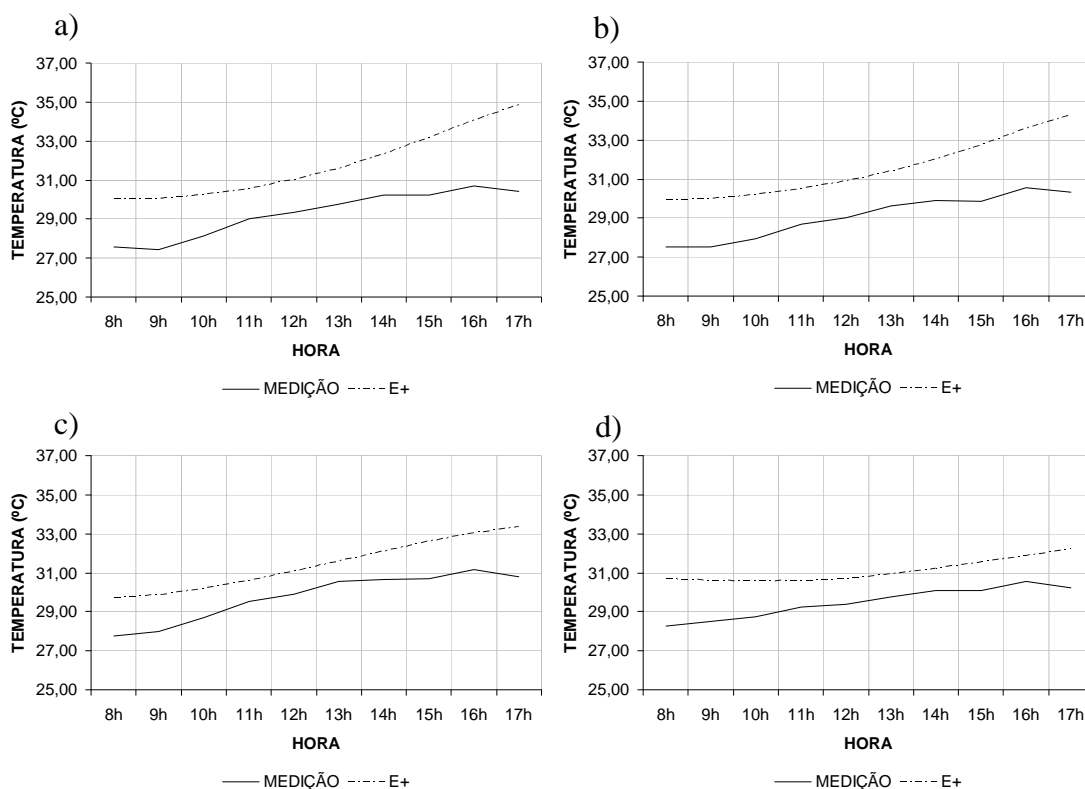


FIGURA 29 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

A parede 4 por ser uma parede interna a edificação sua linha de tendência da medição apresenta uma menor inclinação sendo retratada também na linha de tendência da simulação (Figura 29d).

4.2.6 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 02

Este foi o período em que se obtiveram os melhores resultados segundo as linhas de tendência.

Embora as temperaturas de simulação sejam diferentes das temperaturas de medição as linhas de tendência de simulação da parede 1 (Figura 30a) apresentou uma leve diferença na inclinação em relação a linha de tendência de medição.

A linha de tendência de simulação da parede 2, Figura 30b, apresentou resultado praticamente idêntico ao comportamento da linha de tendência de medição.

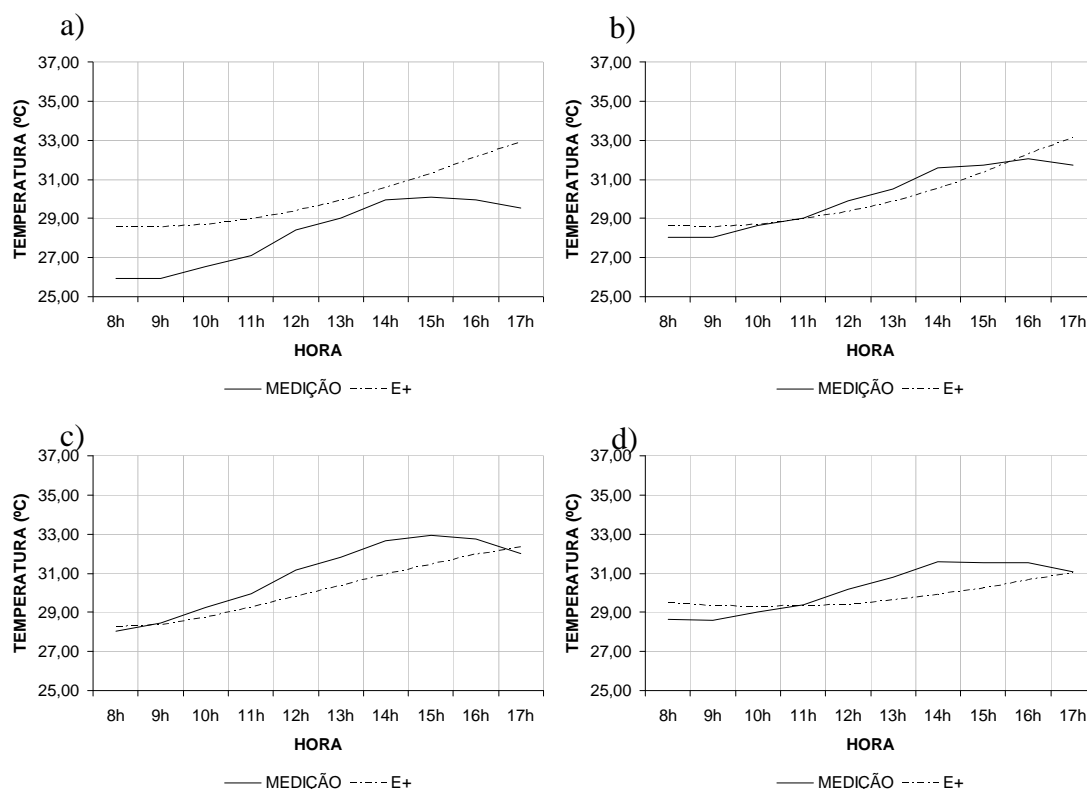


FIGURA 30 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

Assim como na parede 1, as parede 3 e 4, Figuras 30c e 30d, mostraram suas linha de tendência de simulação com inclinação levemente menor do que suas linhas de tendência de medição.

4.2.7 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 02

A linha de tendência de simulação da parede 1 apresentou, praticamente, a mesma inclinação da linha de tendência de medição (Figura 31a).

Já as paredes 2 e 3, Figuras 31b e 31c, apresentaram suas linhas de tendência de simulação com inclinação levemente maior do que a inclinação das linhas de tendência de medição.

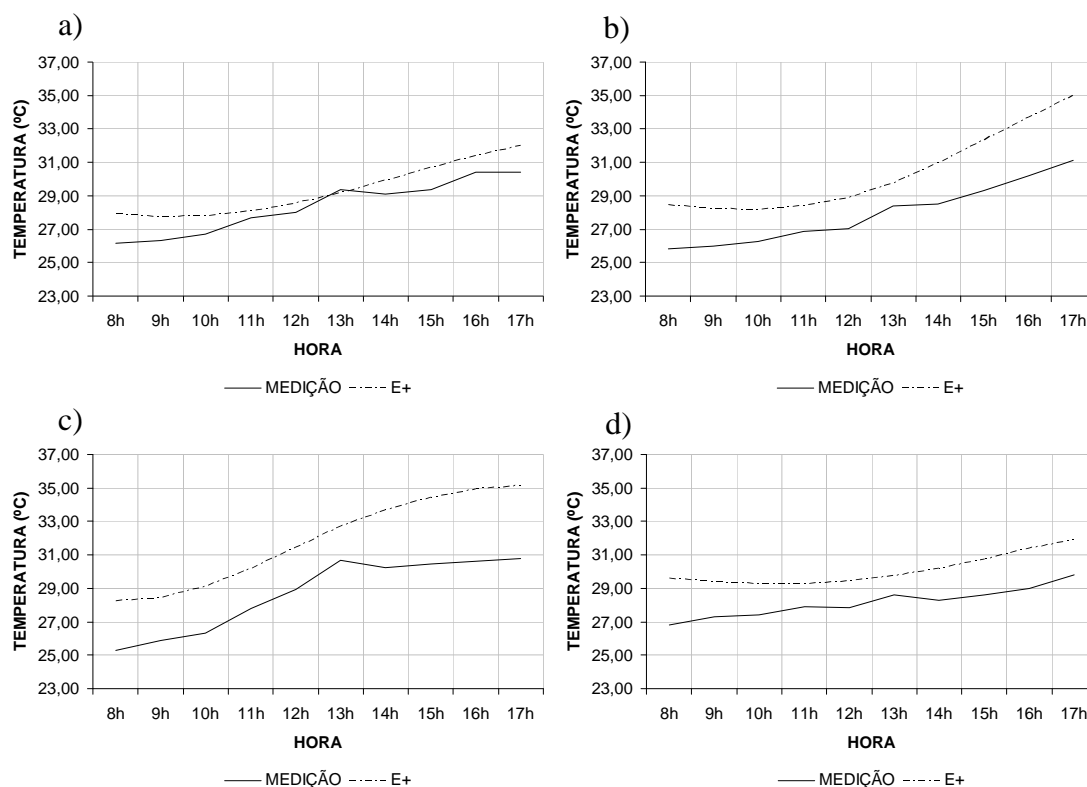


FIGURA 31 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

Assim como a parede 1, a parede 4 apresentou a linha de tendência de simulação com inclinação praticamente igual à inclinação da linha de tendência de medição (Figura 31d).

4.2.8 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 02

Embora os resultados das temperaturas de simulação das paredes estejam distanciados dos resultados das temperaturas de medição, suas linhas de tendência de tanto de medição quanto de simulação seguiram o mesmo comportamento.

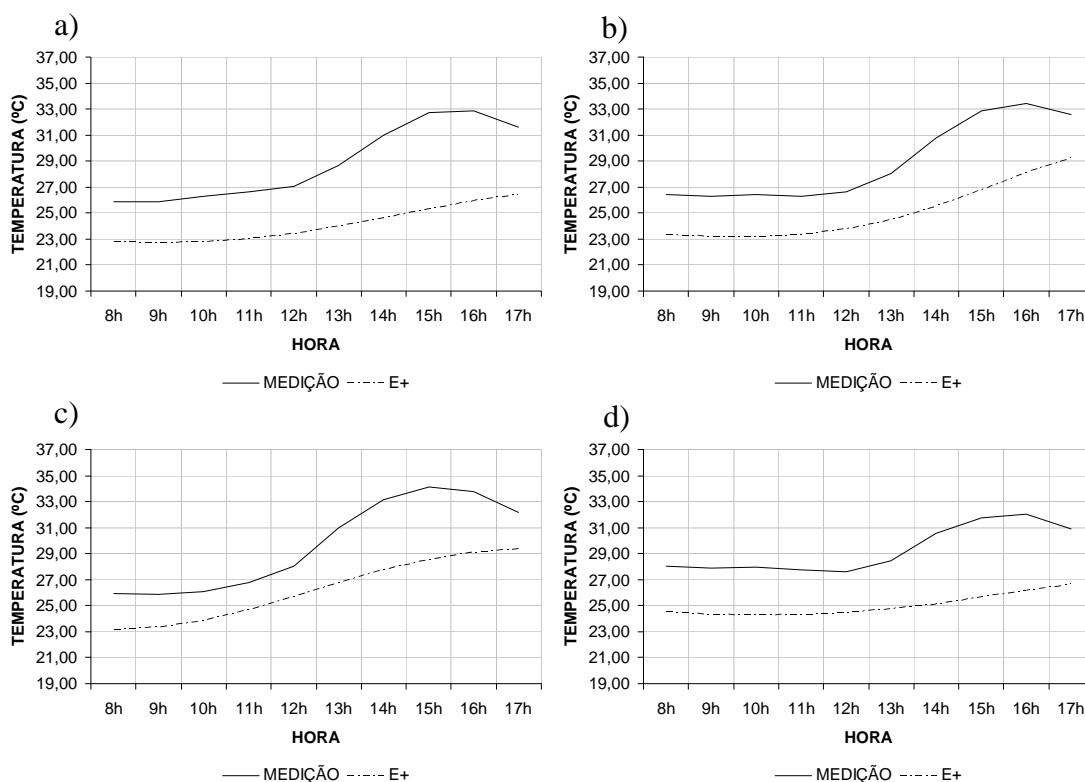


FIGURA 32 – Tendência da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

Tanto as linhas de tendência de simulação das paredes 1 e 4, Figuras 32a e 32d, quanto as das paredes 2 e 3, Figuras 32b e 32c, com relação à inclinação das linhas, obtiveram comportamento próximos aos de suas linhas de tendência de medição, demonstrando um sentido crescente da temperatura ao longo do dia.

4.3 ANÁLISE QUANTITATIVA DAS SIMULAÇÕES COM O ENERGYPLUS

4.3.1 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01

As paredes 1 e 4, Figuras 33a e 33d, apresentaram o coeficiente de determinação (R^2)¹ muito próximos sendo 0,95 para a parede 1 e 0,99 para a parede 4, demonstrando um excelente ajuste dos dados simulados com os medidos utilizando-se regressão do segundo grau..

¹ O coeficiente de determinação diz o quanto a equação de regressão se ajusta aos dados.

Já as paredes 2 e 3 obtiveram coeficiente de ajuste de 0,23 e 0,22 respectivamente (Figuras 33b e 33c).

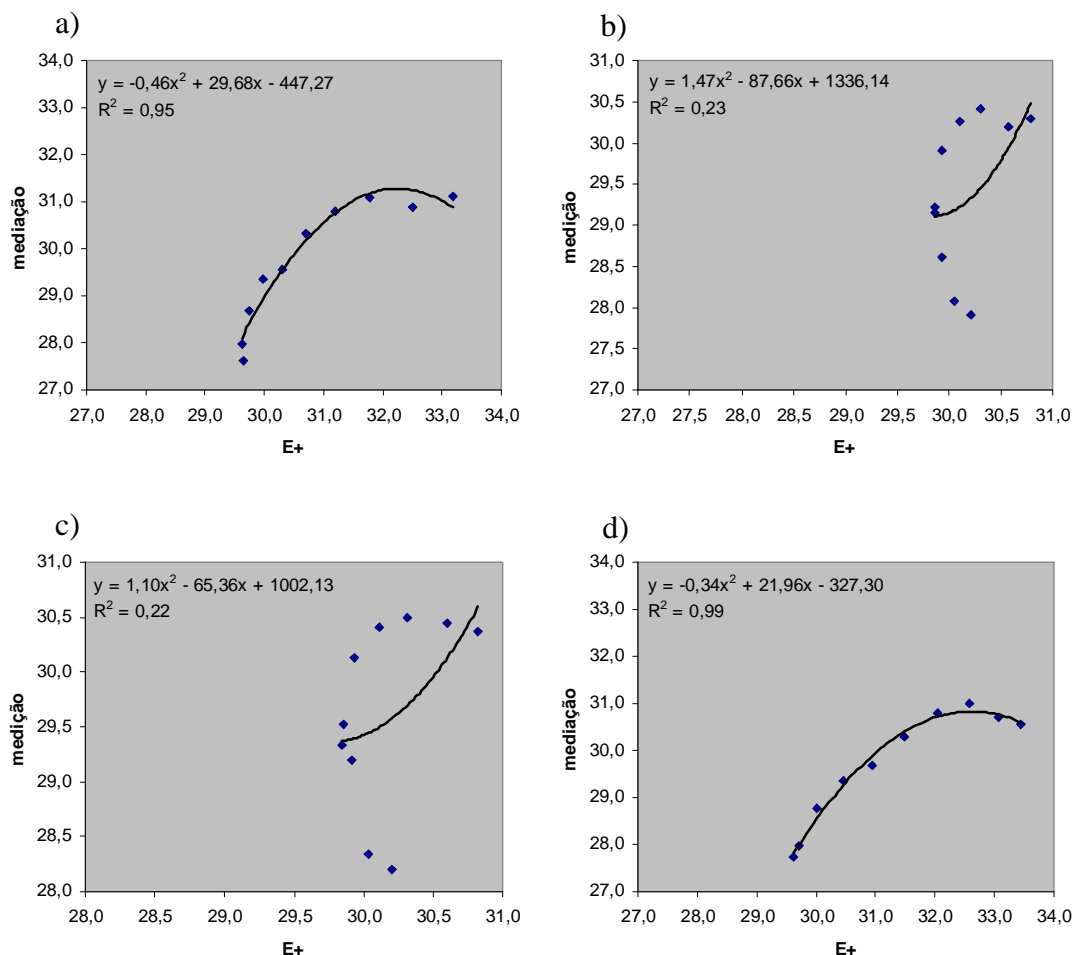


FIGURA 33 – Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

4.3.2 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01

Assim como na primavera, neste período os dados simulados das paredes 1 e 4 (Figuras 34a e 34d) obtiveram excelente concordância com os dados medidos através de regressão do segundo grau, sendo seus R^2 0,92 e 0,97 respectivamente.

Os R^2 das paredes 2 e 3 foram os mais baixos encontrados neste trabalho, sendo 0,10 para a parede 2 e 0,17 para a parede 3 (Figuras 34b e 34c).

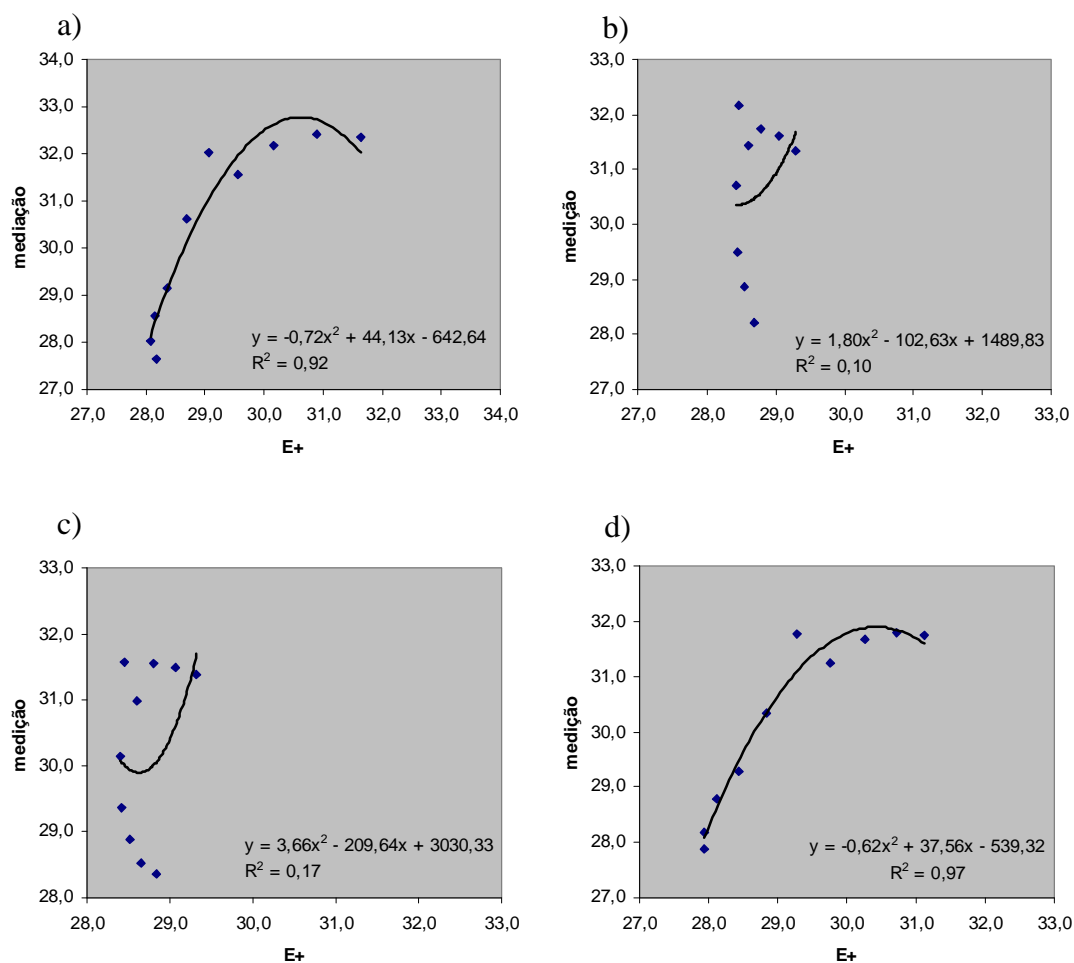


FIGURA 34 – Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

4.3.3 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01

Da mesma forma que nos períodos anteriores, os dados de simulação das paredes 1 e 4 mostraram-se muito bem ajustados aos de medição quando utilizada a regressão do segundo grau, sendo seus R^2 0,93 e 0,94 respectivamente (Figuras 35a e 35d).

Com os valores de R^2 de 0,47 para a parede 2 (Figura 35b) e de 0,39 para a parede 3 (Figura 35c), os dados de simulação não se mostraram bem ajustados aos dados de medição quando utilizada a regressão do segundo grau.

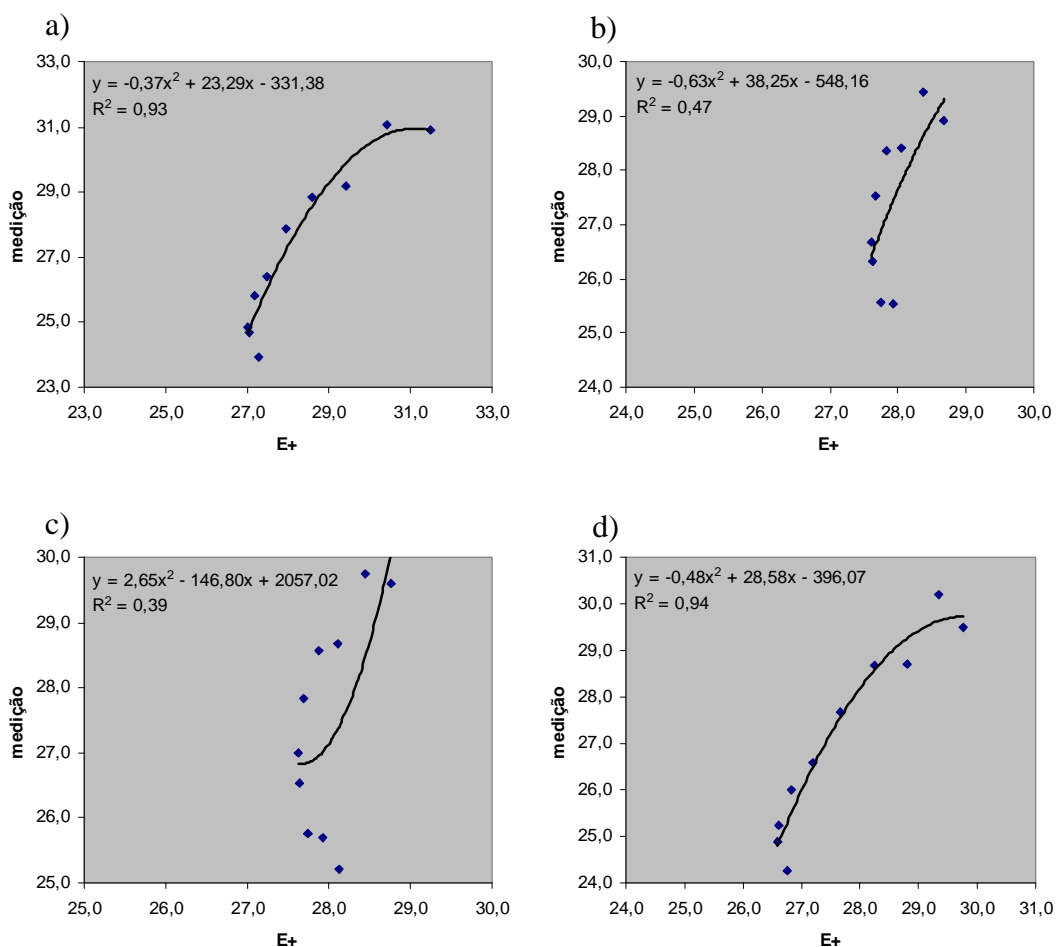


FIGURA 35 – Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

4.3.4 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01

No período do inverno os R^2 das paredes 1 e 4, Figuras 36a e 36d, permaneceram com valor elevado, 0,96 para a parede 1 e 0,98 para a parede 4, mostrando um excelente ajuste dos dados simulados com os dados medidos.

Já as paredes 2 e 3 obtiveram valores medianos para o R^2 , sendo 0,53 para a parede 2 e 0,41 para a parede 3 (Figuras 36b e 36c).

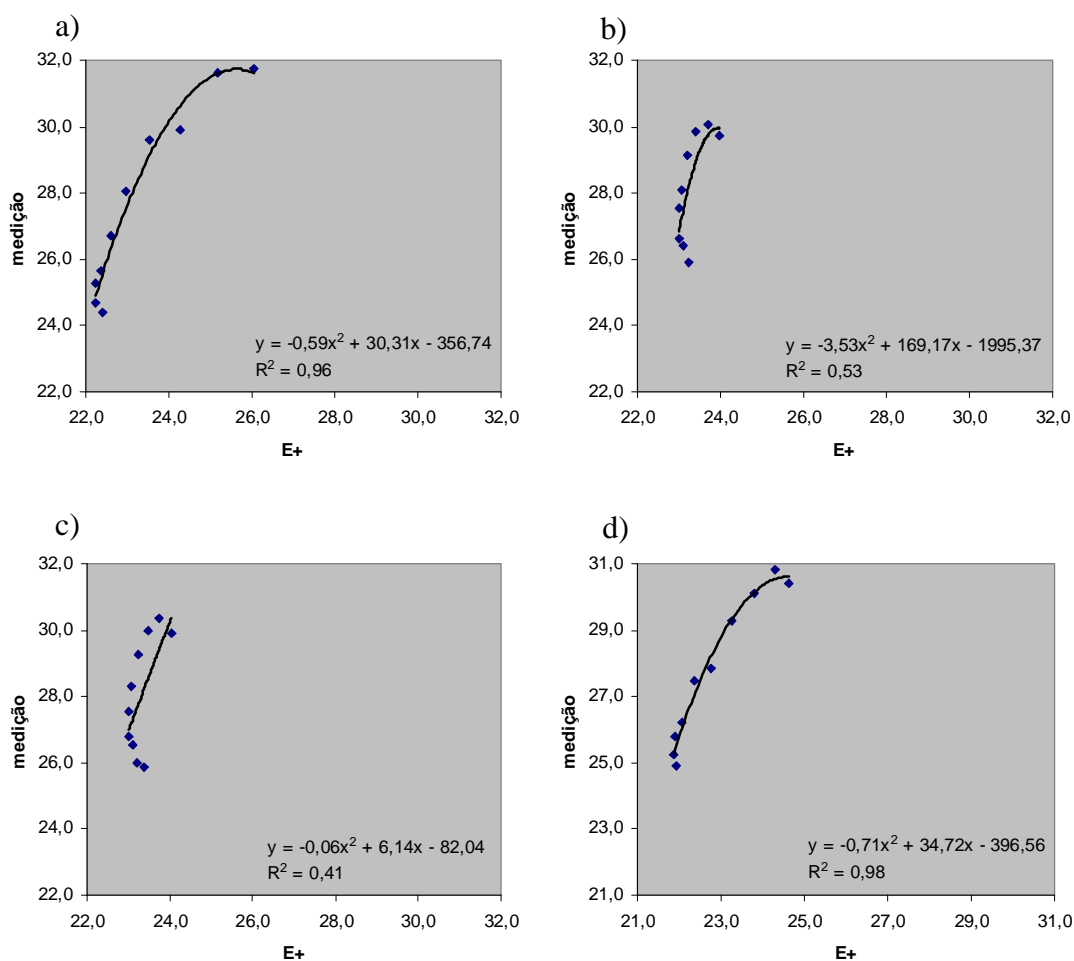


FIGURA 36 – Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

4.3.5 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 02

Os dados simulados da casa 2 para este período obtiveram melhores resultados do que os dados simulados da casa 1. Todas as paredes tiveram seus dados simulados bem ajustados aos dados de medição quando utilizada a regressão do segundo grau, sendo os valores de R^2 0,95 para a parede 1, 0,97 para a parede 2, 0,99 para a parede 3 e 0,81 para a parede 4 (Figura 37a, 37b, 37c e 37d).

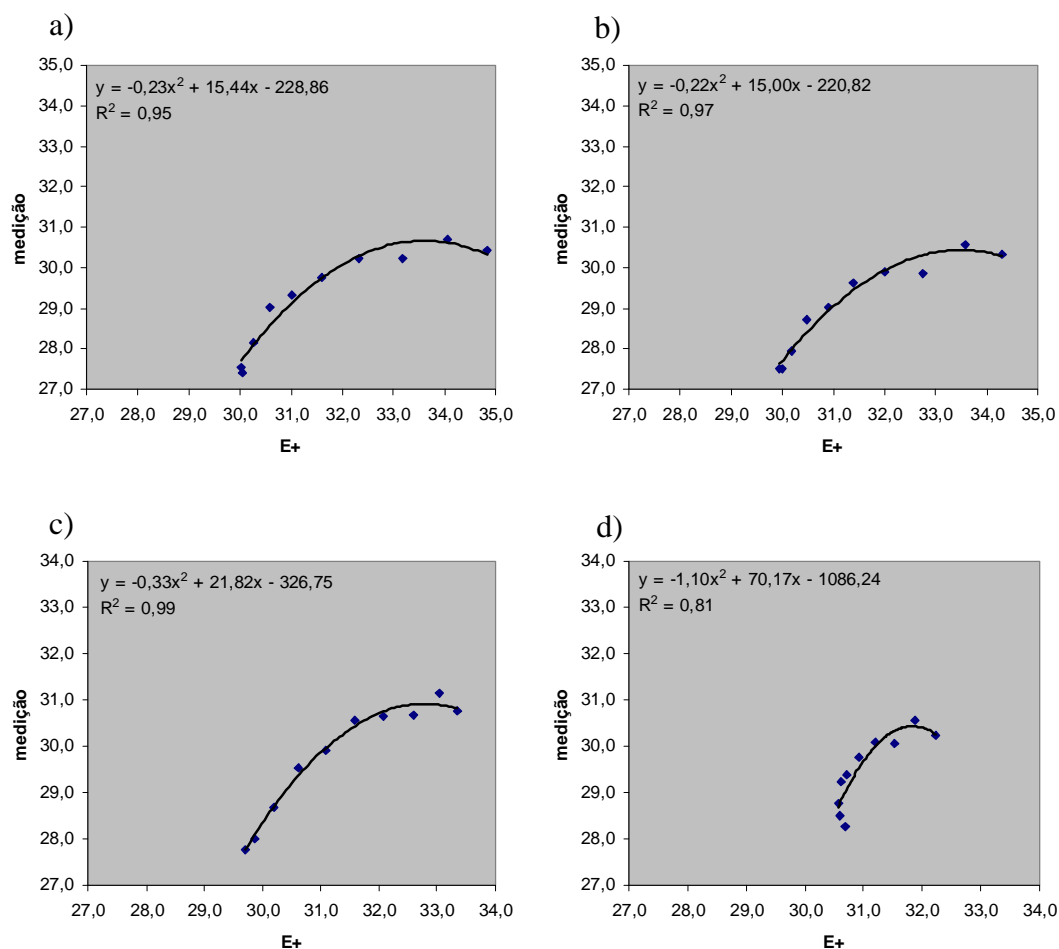


FIGURA 37 – Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

4.3.6 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 02

Para o verão, os dados de simulação das paredes 1 e 2 se justaram aos dados de medição quase que 100% quando utilizada a regressão do segundo grau, sendo seus valores de R^2 0,99 para as duas paredes (Figuras 38a e 38b).

As paredes 3 e 4 continuaram com um excelente ajuste dos dados simulados com os dados medidos, sendo os valores de R^2 0,98 e 0,79 respectivamente (Figuras 38c e 38d).

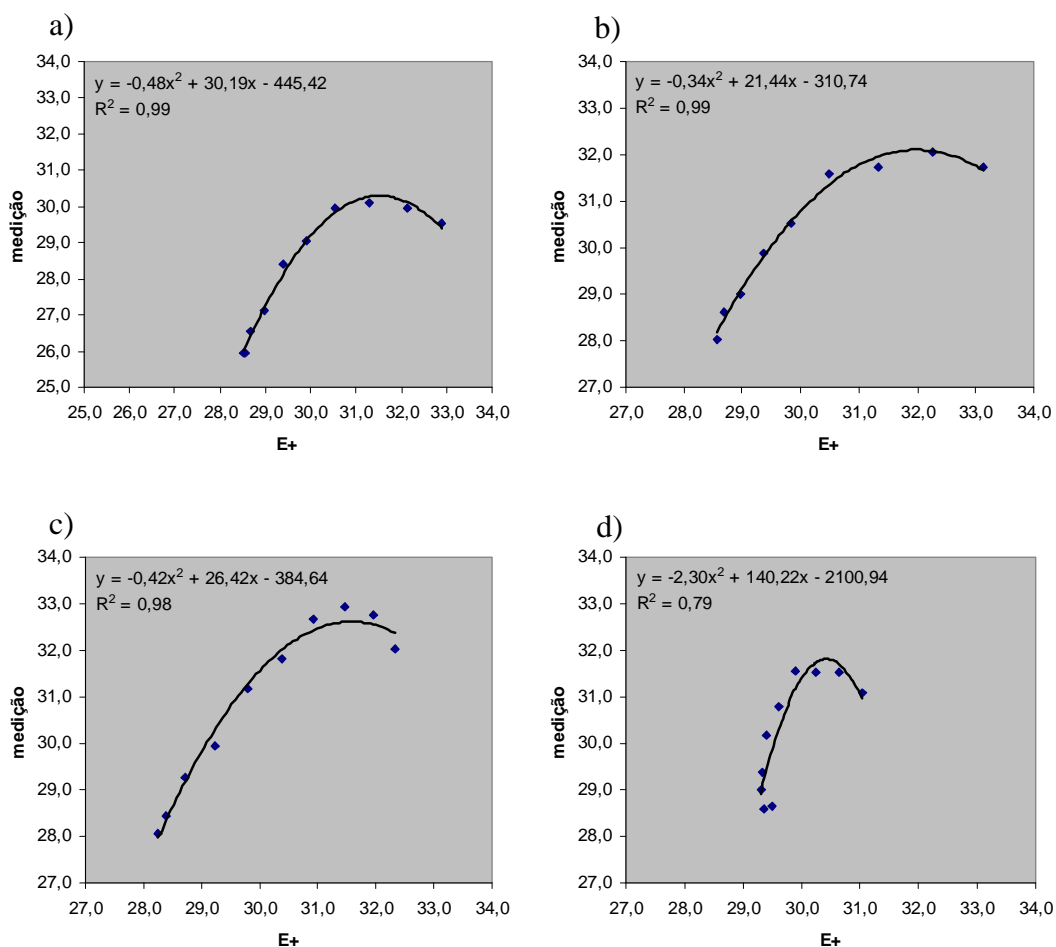


FIGURA 38 – Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

4.3.7 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 02

As paredes 1, 2 e 3 obtiveram R^2 acima de 0,90, o que mostra que seus dados de simulação foram muito bem ajustados aos dados de medição quando utilizada a regressão do segundo grau. Seus valores de R^2 foram de 0,92 para a parede 1, de 0,97 para a parede 2 e de 0,98 para parede 3 (Figuras 39a, 39b e 39c).

Já a parede 4 apresentou um R^2 de 0,74, o que mostra um bom ajuste dos dados simulados com os dados medidos (Figura 39d).

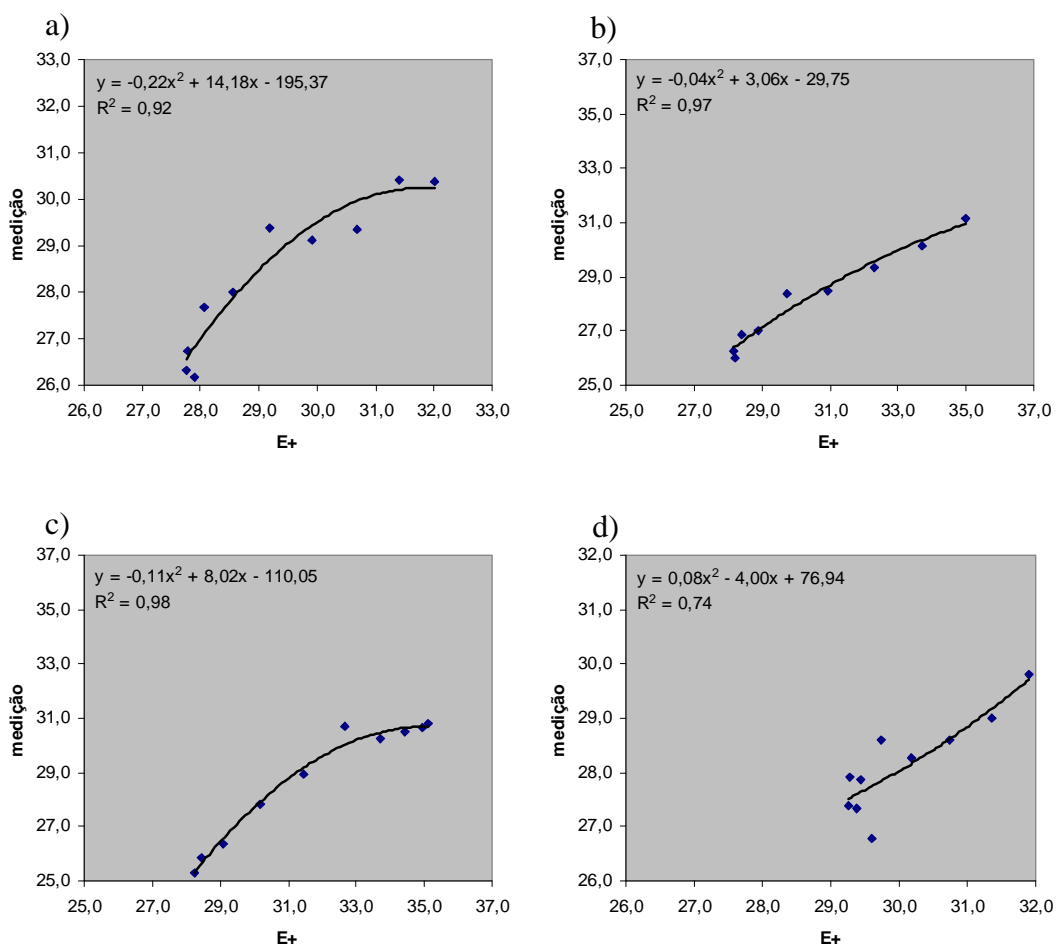


FIGURA 39 – Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

4.3.8 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 02

Neste período todas as paredes obtiveram os valores de R^2 acima de 0,90, mostrando um excelente ajuste dos aos de simulação aos dados de medição (Figuras 40a, 40b, 40c e 40d). Seus valores de R^2 foram: 0,96 para a parede 1; 0,97 para a parede 2; 0,92 para a parede 3; e 0,93 para a parede 4.

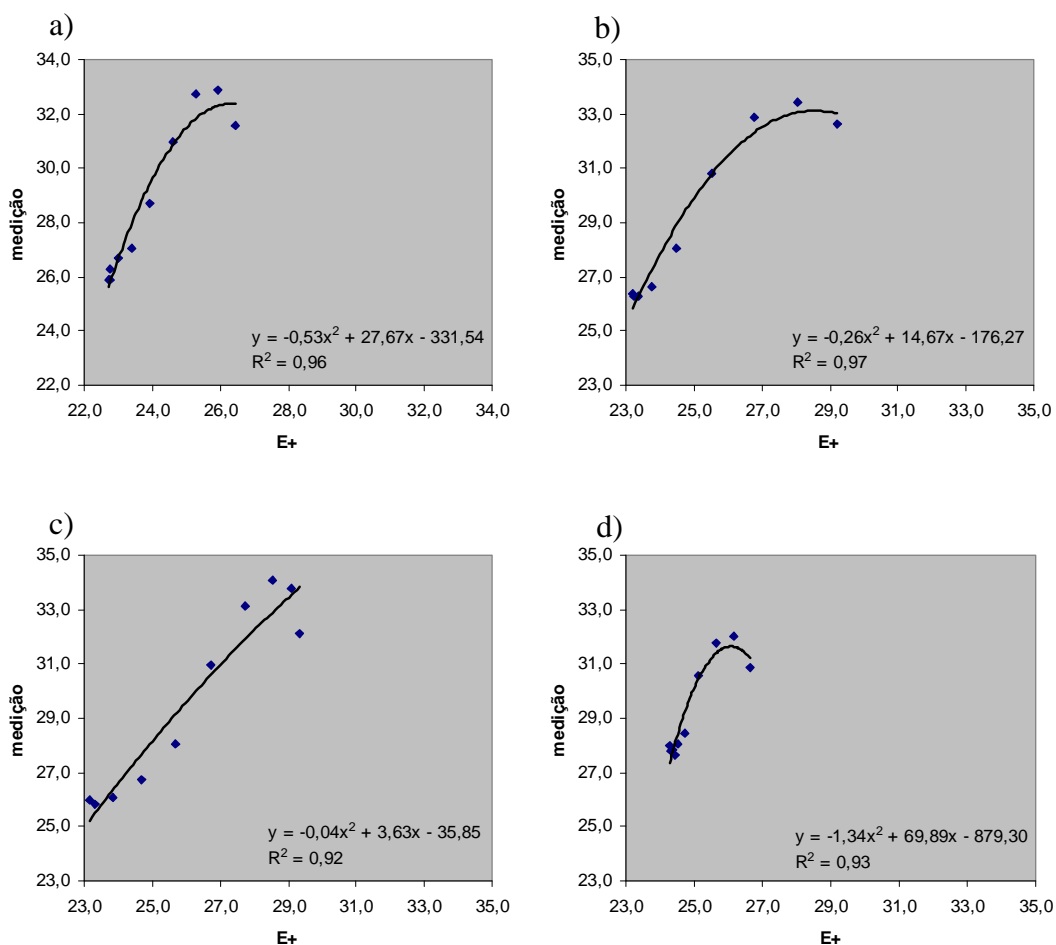


FIGURA 40 – Regressão da temperatura horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 02: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

4.4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS UTILIZANDO O DESKTOP RADIANCE

Os dados obtidos entre às 15:00 e às 17:00 foram considerados distantes dos demais (outliers) devido aos valores fornecidos pelo Desktop Radiance serem muito elevados, não sendo aqui apresentados.

4.4.1 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01

A maior diferença encontrada entre as iluminâncias médias medidas e as simuladas pelo software, para a parede 1, foi de 109,3 LUX e a diferença média foi de 26,89 LUX (Figura 41a).

Para a parede 2, a diferença média foi de 240,56 LUX e a maior diferença entre as iluminâncias médias horárias foi de 359,47 LUX (Figura 41b).

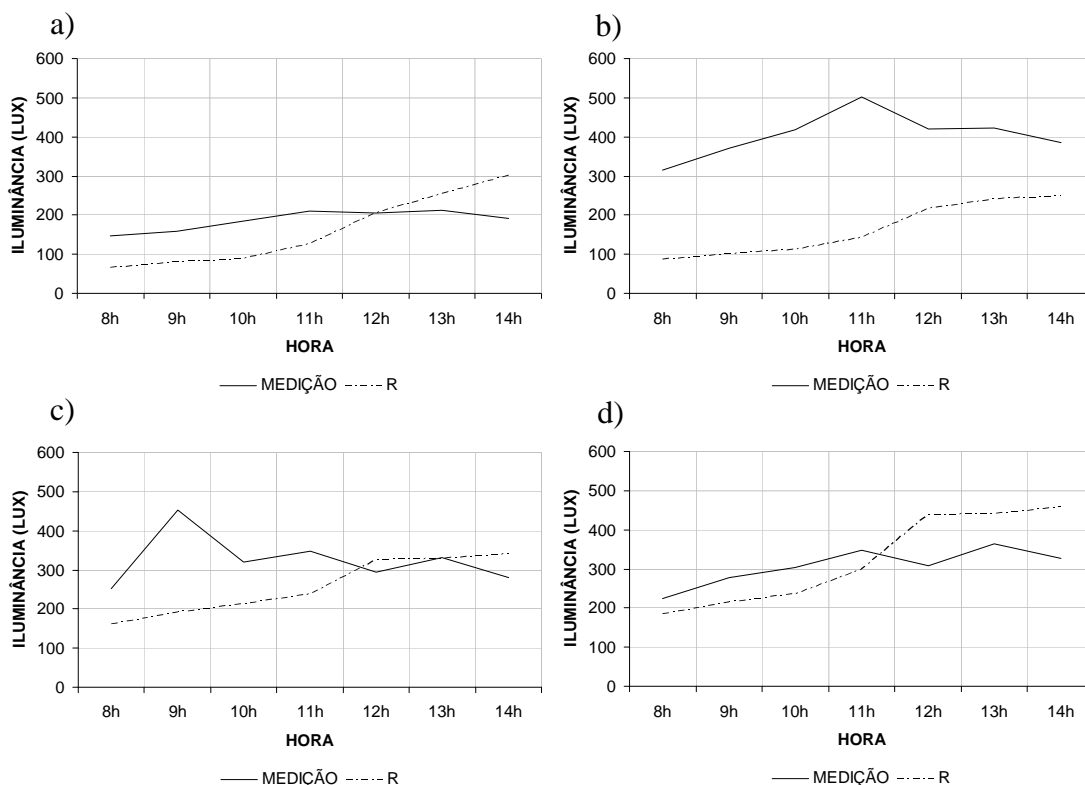


FIGURA 41 – Iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

A parede 3 (Figura 41c) obteve melhores resultados do que a parede 2 (Figura 41b), sendo 262,63 LUX e 359,47 LUX as maiores diferenças entre as iluminâncias médias, e 68,79 LUX e 240,56 LUX as diferenças médias, respectivamente.

Já a parede 4 apresentou os melhores resultados, sendo a maior diferença entre as iluminâncias médias de 130,83 LUX e a diferença média de 17,03 LUX (Figura 41d).

4.4.2 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01

A parede 1, Figura 42a, apresentou uma maior diferença encontrada entre as iluminâncias médias, medidas e as simuladas pelo software de 223,67 LUX e a diferença média foi de 68,70 LUX.

Assim como na primavera, a parede 2 (Figura 42b) obteve as maiores diferenças entre os dados medidos e simulados, sendo 299,30 LUX a maior diferença entre as iluminâncias médias, e 262,11 LUX a diferença média.

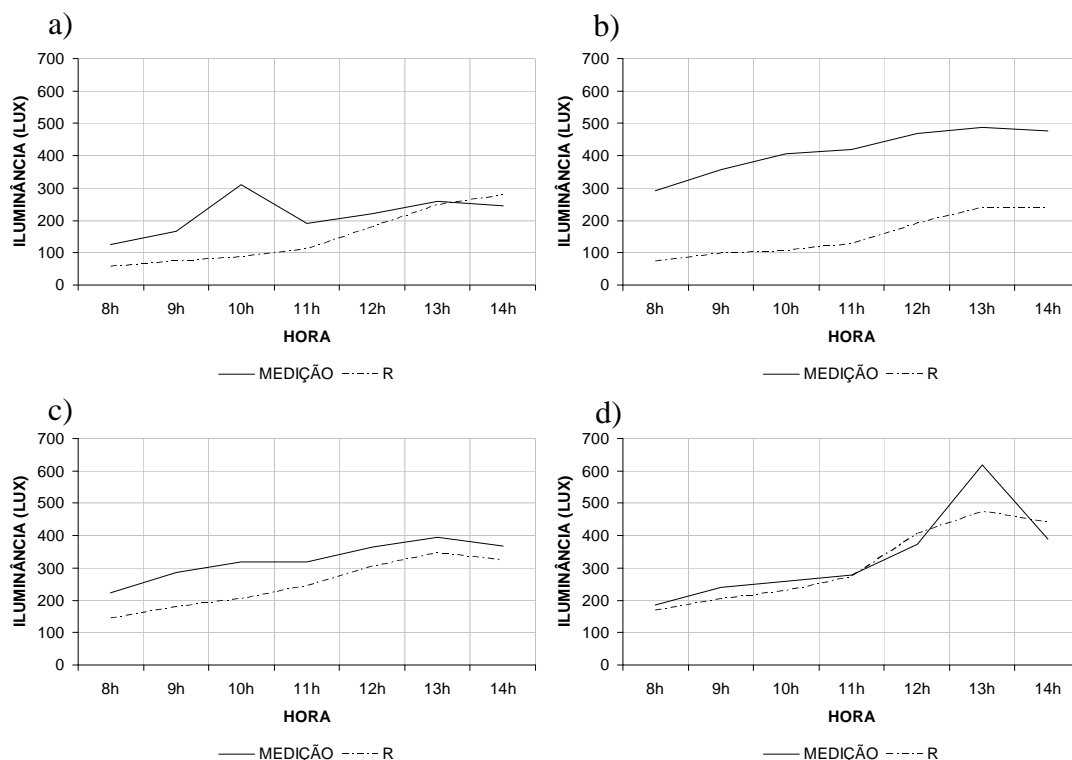


FIGURA 42 – Iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

Para a parede 3, a diferença média foi de 75,05 LUX e a maior diferença entre as iluminâncias médias horárias foi de 115,13 LUX (Figura 42c).

Já a parede 4 apresentou o melhor resultado para este período, sendo a diferença média de 21,35 LUX e a maior diferença entre as iluminâncias médias horárias de 144,59 LUX (Figura 42d).

4.4.3 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01

Para a parede 1, a diferença média foi de 70,99 LUX e a maior diferença entre as iluminâncias médias horárias foi de 244,79 LUX (Figura 43a).

Dentre os resultados obtidos para este período, os da parede 3 (Figura 43c) mostraram ser os melhores, sendo 105,64 LUX a maior diferença entre as iluminâncias médias, e 55,42 LUX a diferença média.

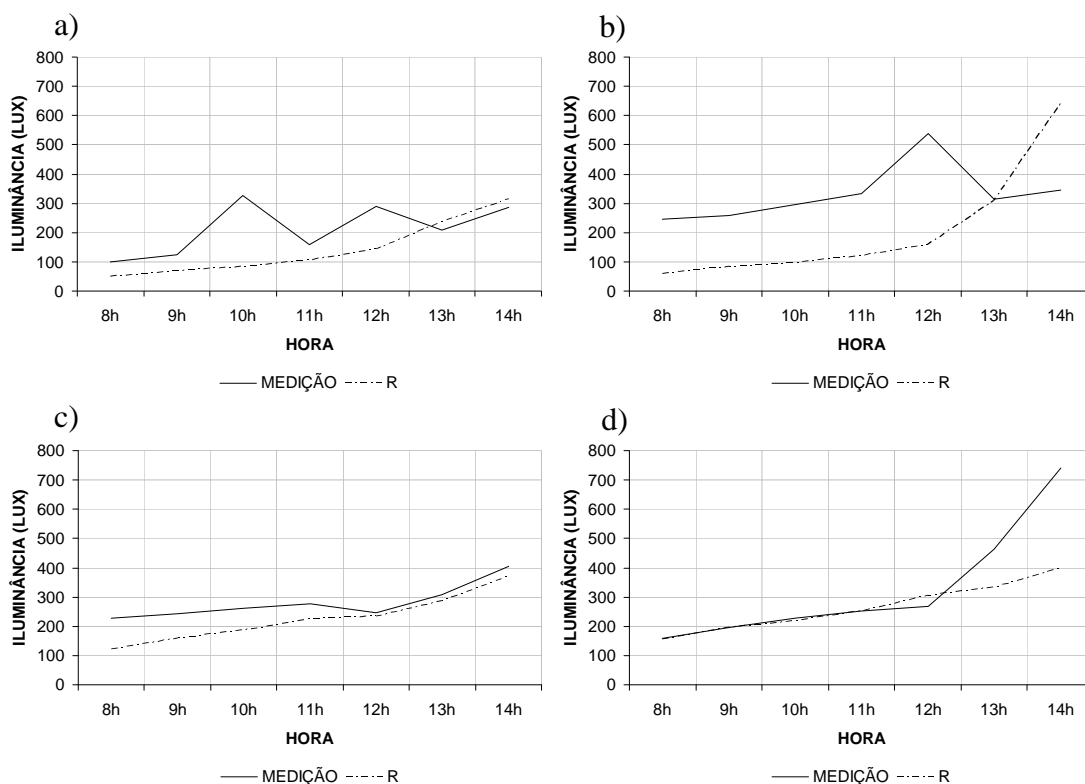


FIGURA 43 – Iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

Já a parede 2 apresentou o pior resultado para este período, sendo a diferença média de 123,37 LUX e a maior diferença entre as iluminâncias médias horárias de 381,84 LUX (Figura 43b).

A parede 4, com relação à diferença média, obteve resultado semelhante ao da parede 3. Seus valores de diferença média e de maior diferença entre as iluminâncias médias foram de 65,03 LUX e de 342,35 LUX respectivamente (Figura 43d).

4.4.4 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01

O melhor resultado foi obtido pela parede 1 (Figura 44a), com uma diferença média de 44,58 LUX e uma maior diferença entre as iluminâncias médias de 120,14 LUX.

Assim como no período anterior, a parede 2 apresentou o pior resultado, sendo a diferença média de 93,94 LUX e a maior diferença entre as iluminâncias médias horárias de 237,25 LUX (Figura 44b).

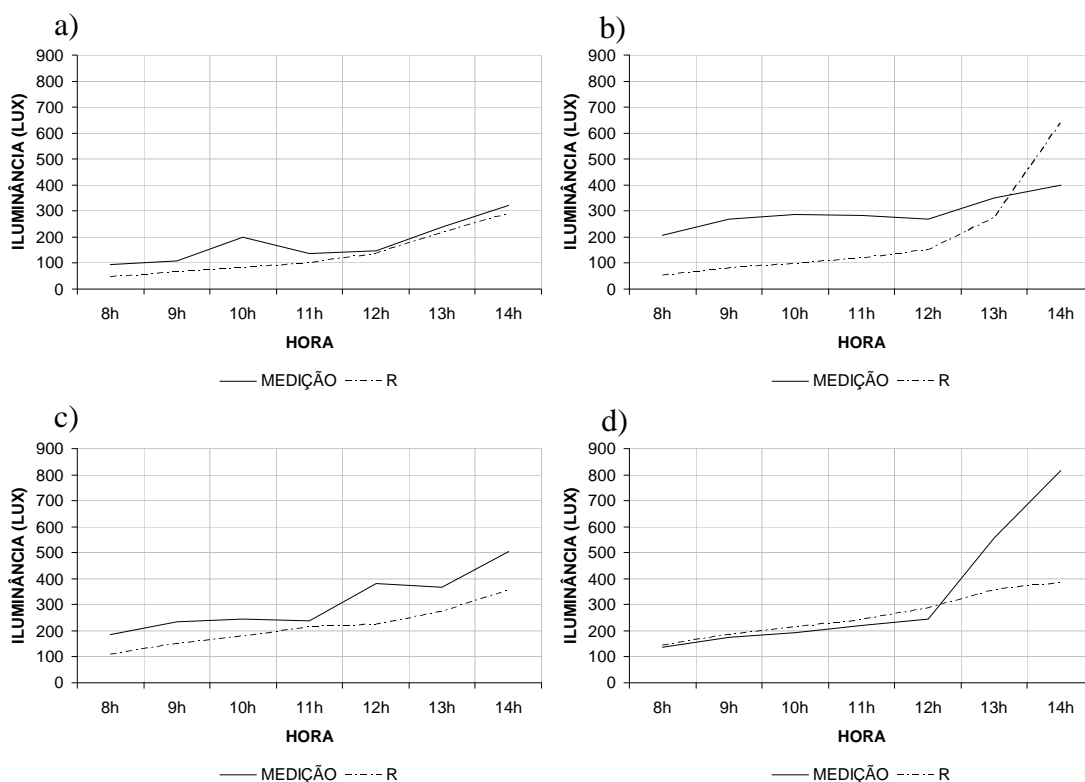


FIGURA 44 – Iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

A parede 3 obteve resultado semelhante ao da parede 2 com relação à diferença média. Seus valores de diferença média e de maior diferença entre as iluminâncias médias foram de 92,86 LUX e de 159,10 LUX respectivamente (Figura 44c).

A parede 4 apresentou comportamento semelhante ao período anterior com uma diferença média de 75,65 LUX e uma maior diferença entre as iluminâncias médias de 432,08 LUX (Figura 44d).

4.5 ANÁLISE QUALITATIVA DAS SIMULAÇÕES COM O DESKTOP RADIANCE

4.5.1 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01

A parede 1 (Figura 45a) apresentou sua linha de tendência de simulação com inclinação maior do que a inclinação da linha de tendência de medição, sendo que ambas as linhas de tendência apresentaram o mesmo sentido crescente.

Embora os resultados das temperaturas de simulação da parede 2 estejam distanciados dos resultados das temperaturas de medição, suas linhas de tendência de tanto de medição quanto de simulação seguiram o mesmo comportamento crescente durante o dia (Figura 45b).

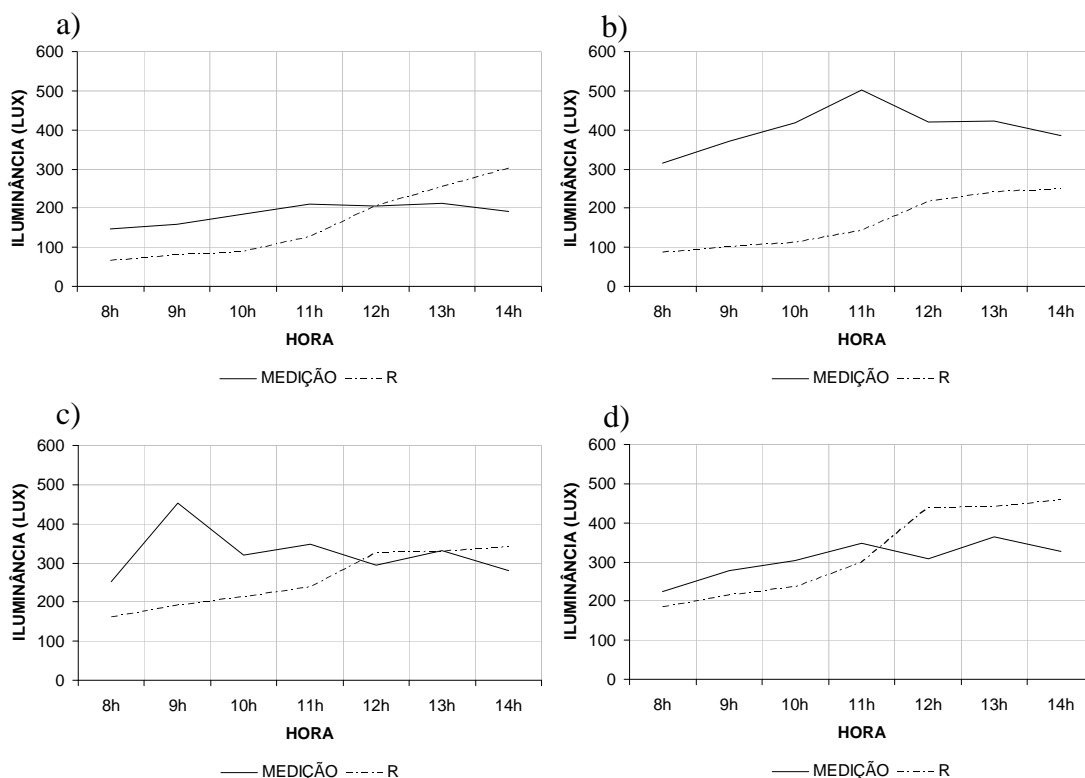


FIGURA 45 – Tendência da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

Já a parede 3 apresentou sua linha de tendência de simulação com sentido inverso ao da linha tendência de medição, sendo crescente para a linha de tendência de simulação e decrescente para a linha de tendência de medição (Figura 45c).

Assim como a parede 1, a parede 4 (Figura 45d) apresentou sua linha de tendência de simulação com inclinação maior do que a inclinação da linha de tendência de medição, mas com o mesmo sentido crescente.

4.5.2 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01

A linha de tendência de simulação da parede 1 (Figura 46a) apresentou inclinação um pouco maior do que a inclinação da linha de tendência de medição, porém com o mesmo sentido crescente.

Assim como na primavera, a linha de tendência de simulação da parede 2, Figura 46b, mostrou-se com o mesmo comportamento crescente que o comportamento da linha de tendência de medição com inclinação praticamente igual, embora seus dados de temperatura estejam distanciados.

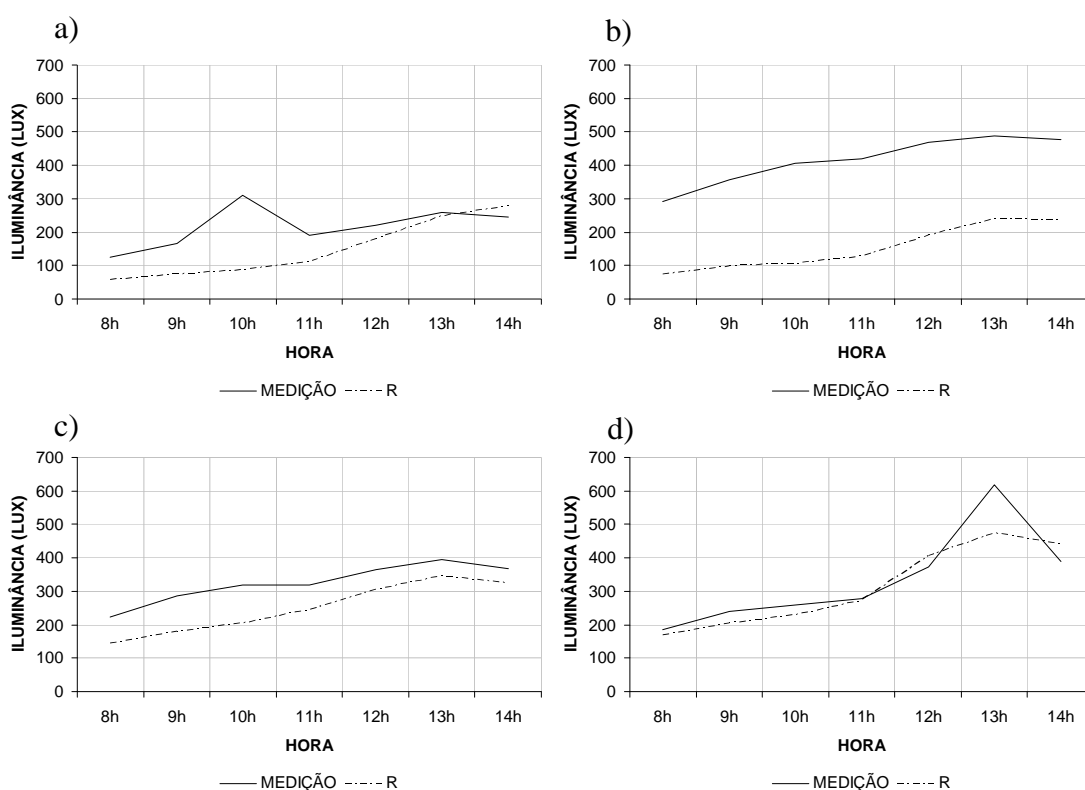


FIGURA 46 – Tendência da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

A linha de tendência de simulação da parede 3 seguiu o mesmo comportamento da linha de tendência de medição com inclinação muito próxima e sentido crescente (Figura 46c).

A linha de tendência de simulação da parede 4, Figura 46d, apresentou resultado praticamente idêntico ao comportamento da linha de tendência de medição.

4.5.3 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01

Tanto a linha de tendência de simulação da parede 1 quanto à linha de tendência de simulação da parede 3, Figuras 47a, apresentaram comportamentos semelhantes com inclinações próximas as de suas linhas de tendência de medição e com o mesmo sentido.

A linha de tendência de simulação da parede 2 (Figura 47b) apresentou inclinação maior do que a inclinação da linha de tendência de medição, porém apresentou o mesmo sentido crescente.

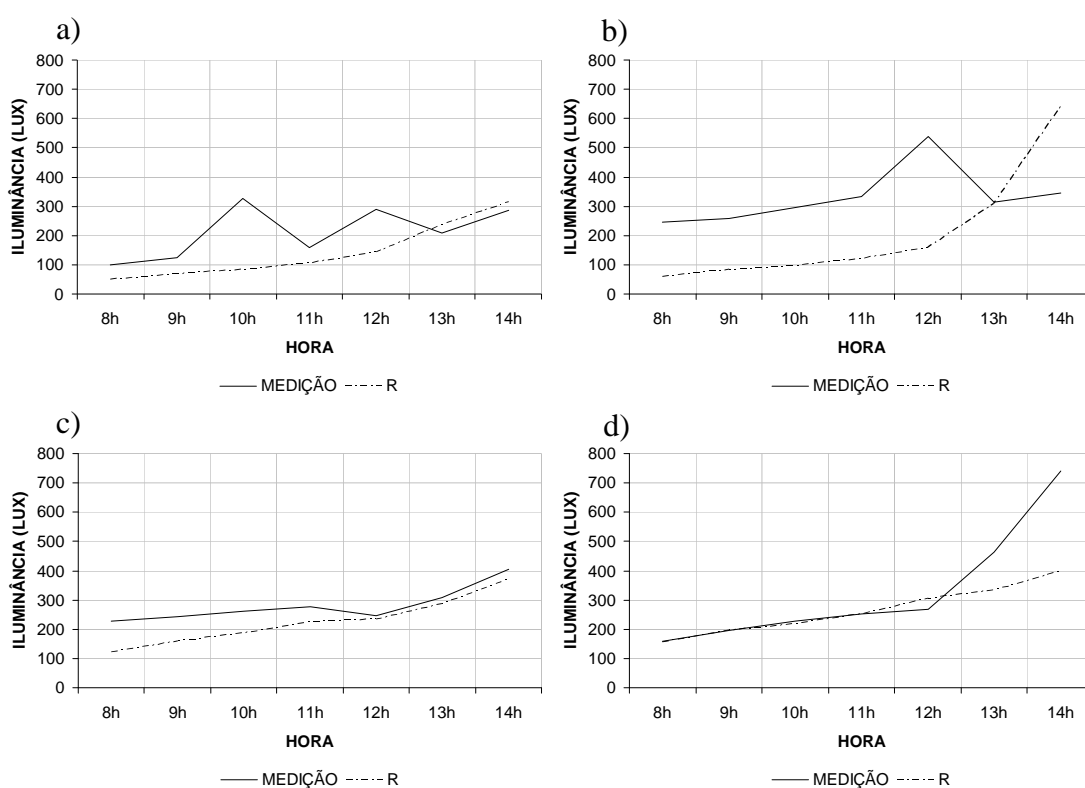


FIGURA 47 – Tendência da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

Assim como a parede 1, a inclinação da linha de tendência de simulação da parede 3, Figura 47c, mostrou-se próxima à inclinação da linha de tendência de medição com o mesmo sentido crescente.

A parede 4 apresentou sua linha de tendência de simulação com inclinação menor do que a inclinação da linha de tendência de medição, porém com mesmo sentido crescente (Figura 47d).

4.5.4 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01

A parede 1 apresentou comportamento da linha de tendência de simulação muito próximo ao comportamento da linha de tendência de medição, com inclinações semelhantes e mesmo sentido crescente (Figura 48a).

O comportamento das linhas de tendência da parede 2 (Figura 48b) foi semelhante ao comportamento do período do outono com a inclinação da linha de tendência de simulação maior do que a inclinação da linha de tendência de medição e mesmo sentido crescente.

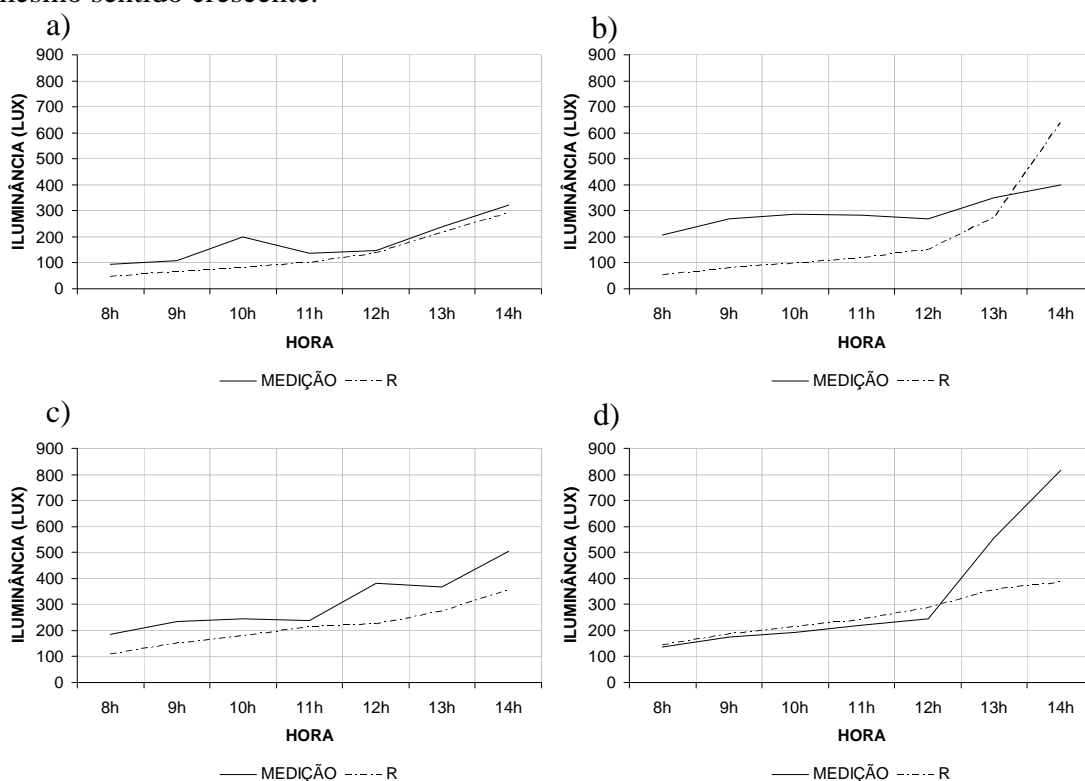


FIGURA 48 – Tendência da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

A linha de tendência de simulação da parede 3, Figura 48c, mostrou-se com inclinação semelhante à inclinação da linha de tendência de medição e com mesmo sentido crescente.

A parede 4 apresentou o mesmo comportamento que no outono com inclinação da linha de tendência de simulação menor do que a inclinação da linha de tendência de medição, porém com mesmo sentido crescente (Figura 48d).

4.6 ANÁLISE QUANTITATIVA DAS SIMULAÇÕES COM O DESKTOP RADIANCE

4.6.1 Resultados das Simulações para a Primavera – Casa 01

Os valores de R^2 das paredes 1, 2 e 4 foram praticamente os mesmos apresentando um bom ajuste dos dados de simulação aos dados de medição, sendo 0,87 para a parede 1, 0,86 para a parede 2 e 0,86 para a parede 4 (Figuras 49a, 49b e 49d).

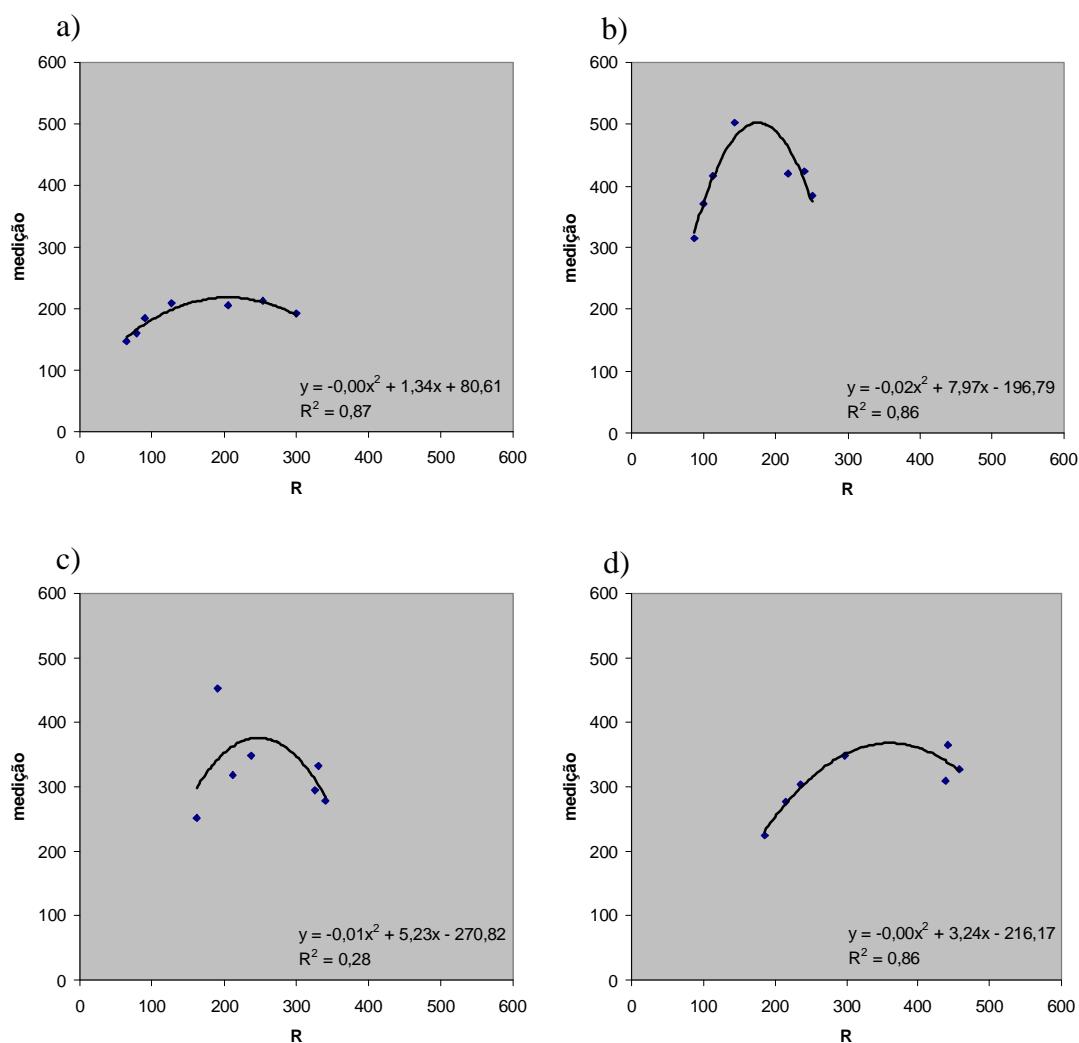


FIGURA 49 – Regressão da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para a primavera

Já os dados de simulação da parede 3, Figura 49c, não se mostraram bem ajustados aos dados de medição, com R^2 de 0,28.

4.6.2 Resultados das Simulações para o Verão – Casa 01

Neste período a parede 1 (Figura 50a) não apresentou um bom ajuste dos dados de simulação aos dados de medição, sendo seu R^2 de 0,27.

As paredes 2 e 3 apresentaram valores de R^2 acima de 0,90 mostrando um excelente ajuste dos dados de simulação aos dados de medição. Seus valores de R^2 foram 0,97 e 0,95 respectivamente (Figuras 50b e 50c).

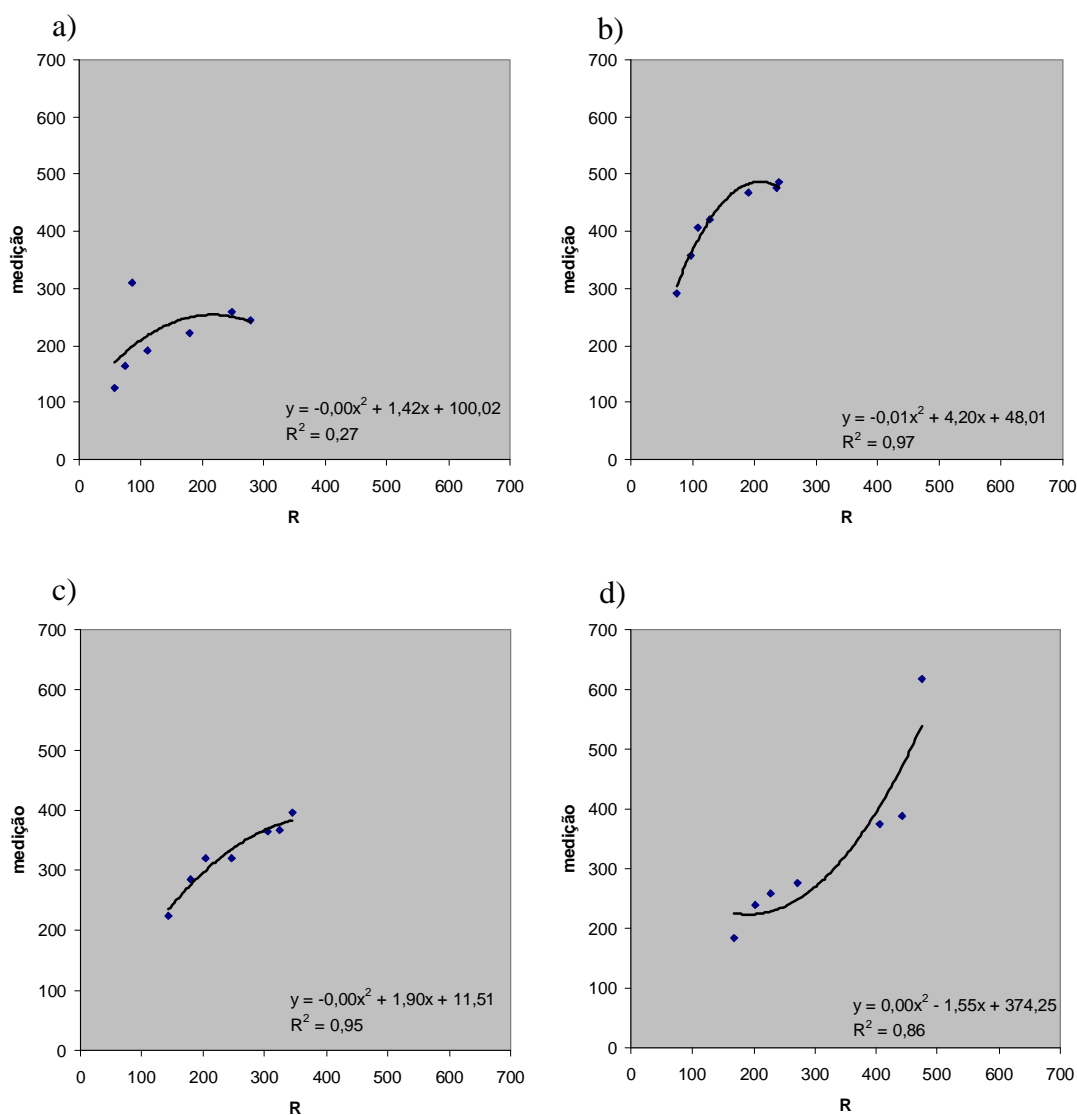


FIGURA 50 – Regressão da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o verão

O valor de R^2 para a parede 4 foi de 0,86 mostrando um bom ajuste dos dados de simulação aos dados de medição (Figura 50d).

4.6.3 Resultados das Simulações para o Outono – Casa 01

Os dados de simulação das paredes 1 e 2, Figuras 52a e 51b, não se mostraram bem ajustados aos dados de medição com R^2 de 0,29 e 0,17 respectivamente.

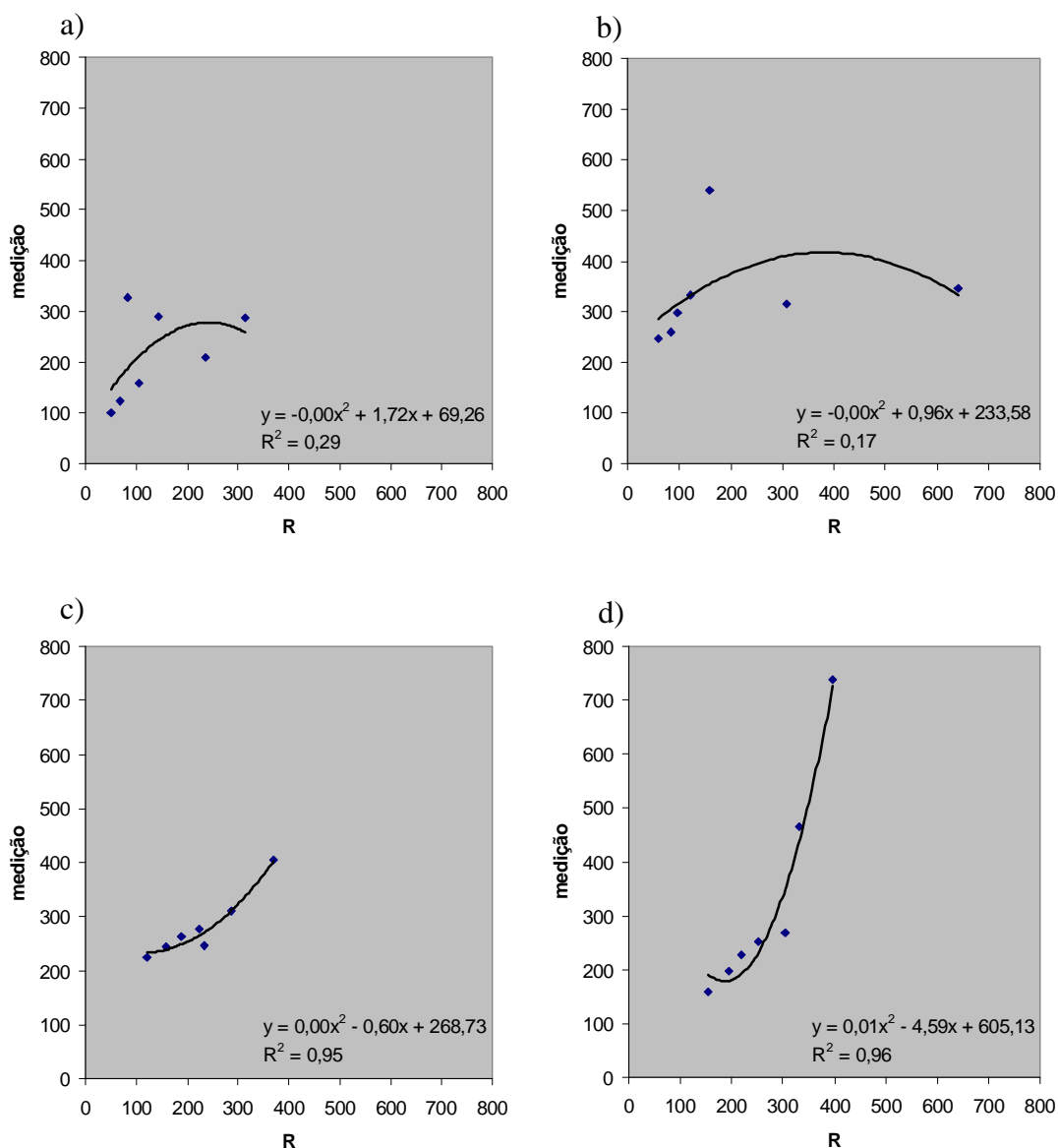


FIGURA 51 – Regressão da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o outono

As paredes 3 e 4 apresentaram seus R^2 praticamente iguais e acima de 0,90 mostrando um excelente ajuste dos dados de simulação aos dados de medição. Seus valores de R^2 foram 0,95 para a parede 3 e 0,96 para a parede 4 (Figura 51 c e 51d).

4.6.4 Resultados das Simulações para o Inverno – Casa 01

Este foi o período em que se obtiveram os melhores resultados tendo os dados de simulação bem ajustados aos dados de medição.

As paredes 1 e 3 apresentaram seus R^2 próximos entre si, sendo 0,85 para a parede 1 e 0,88 para a parede 3 (Figuras 52a e 52c).

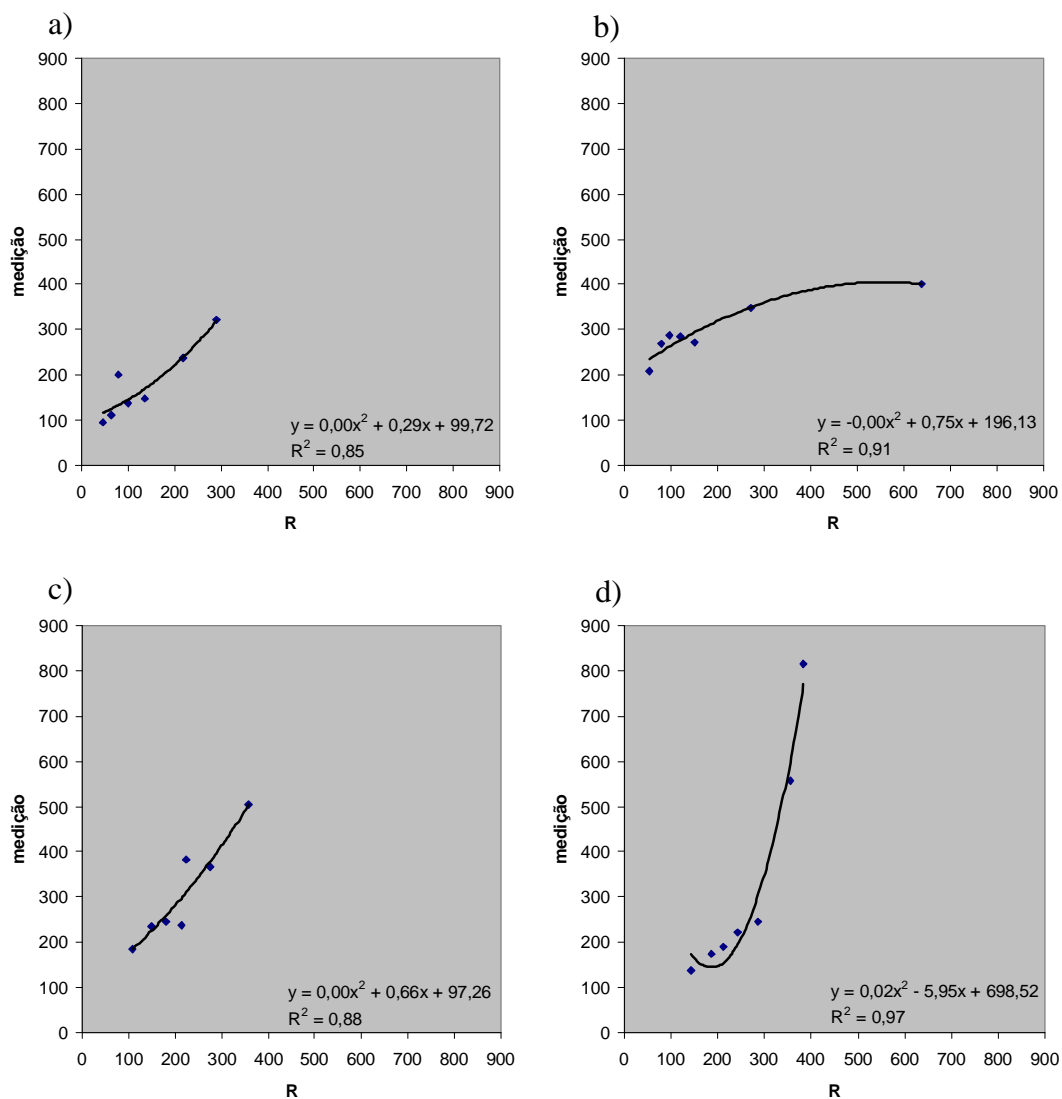


FIGURA 52 – Regressão da iluminância média horária medida e simulada das superfícies internas das paredes da casa 01: a) parede 1; b) parede 2; c) parede 3; e d) parede 4; para o inverno

Já as paredes 2 e 4, Figuras 52b e 52d, obtiveram seus R^2 acima de 0,90 com R^2 de 0,91 e 0,97 respectivamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises dados de simulação computacional mostraram que:

- a) Quando se trabalha com dados direto das medições in loco e transfere-se para os programas computacionais e em seguida realiza-se a simulação não obtêm-se dados confiáveis sendo necessário realizar ajustes através da regressão e assim conseguirmos obter dados confiáveis através dos programas computacionais empregados.
- b) Quanto ao aspecto qualitativo, os dados de simulação mostraram ser confiáveis, uma vez que as tendências dos dados de medição e simulados são próximas e crescentes.
- c) Quanto ao aspecto quantitativo, os dados obtidos pela simulação podem ser utilizados desde que se utilize de uma equação de regressão do segundo grau para corrigir esses dados, uma vez que os coeficientes de determinação (R^2) foram, de maneira geral, acima de 0,7 representando excelente ajuste.

Com a utilização dos softwares EnergyPlus e Desktop Radiance é possível prever, enquanto projeto, o comportamento termo-energético da edificação já adaptada ao clima de Cuiabá, uma vez que o EnergyPlus se utiliza do arquivo climático local para a realização de suas simulações e o Desktop Radiance se utiliza dos dados de localização. Desta forma evita-se um consumo maior de energia e modificações nas estruturas das edificações após construção para adequá-las ao clima local.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar simulações nas edificações como um todo e não apenas no ambiente de estudo.

Buscar as equações de regressão do segundo grau necessárias à correção dos dados fornecidos pelos softwares EnergyPlus e Desktop Radiance.

Realizar simulações computacionais com o EnergyPlus e o Desktop Radiance em outros tipos de edificações na cidade de Cuiabá e no estado de Mato Grosso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1 REFERÊNCIAS CITADAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220-2 – **Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. 2005.

ALMEIDA JUNIOR, N. L. “**Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica**”. Cuiabá. Dissertação (Mestrado), 2005. Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 94f.

AMORIM, A. L. de. **Simulação computacional em arquitetura e urbanismo**. In: IV SEMINÁRIO DE LINGUAGEM, INFORMAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO, 2003. Salvador. Anais. Salvador: LCAD, 2003.

AMORIM, C.N.D. **Illuminazione Naturale, Comfort Visivo ed Efficienza Energetica in Edifici Commerciali: Proposte Progettuali e Tecnologiche in contesto di clima Tropicale**. Tese de Doutorado. Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Dezembro 2002.

ARAÚJO, R. C. **Estudo comparativo entre painéis verticais compostos por EPS e tijolo cerâmico de oito furos como isolantes térmicos para a região de Cuiabá-MT**. Cuiabá, 2004. 83p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente - ICET –UFMT.

BAUER, F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro, RJ, 5º Ed., 1995. Vol. 1

BONATES, M. F.; BRITO, E. L.; SILVA, L. B.. **Avaliação da eficiência energética do sistema de iluminação artificial de um ambiente de trabalho – estudo de caso**. XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção - Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de nov de 2004

BORDUNI, R. N.. **Simulação Computacional para Análise de Eficiência Energética em Edificações**. Brasília, 2006. 112f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília.

CALDAS, L. G., NORFORD, L. K. **A Design Optimization Tool Based on a Genetic Algorithm**. Em “Automation in Construction”, p. 173–184, nov. 2002

CANO, S., RAITELLI, M., AJMAT, R.. Evaluacion de herramientas para calculos de alumbrado natural. **ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**. Impreso en la Argentina. Vol. 6, Nº 2, 133-138, 2002.

CLIMA DO BRASIL. In: Wikipédia, a enciclopédia livre. 2001. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Clima_do_Brasil> acesado em 10/nov/2008

CONFORTO AMBIENTAL I – FUNDAMENTOS. In: FAUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Disponível em <http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0258/Aula_2_-_Parametros_de_Conforto.pdf> acesado em 10/nov/2008

CORBELLA, O. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2003.

COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação econômica: Cálculo e avaliação**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1998.

CUIABÁ. In: Wikipédia, a enciclopédia livre. 2001. Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Cuiab%C3%A1>> acesado em 10/nov/2008

EDWARDS, B.. **How do Green Buildings Pay?**. II New Fetter Lane, London. Second edition, p. 2-17, 2003

ELETROBRÁS/PROCEL. **Manual de prédios eficientes em energia elétrica**. Rio de Janeiro: IBAM – ELETROBRÁS/PROCEL, 2002.

ESTULANO, G. A. **O comportamento térmico de diferentes materiais utilizados nos painéis de fechamento vertical nas edificações da cidade de Cuiabá/MT - Avaliação Pós-Ocupação**. Cuiabá, 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

EUROPEAN COMMISSION. **Daylight in buildings**. Dir. General XVII for energy, Energy Research Group, School of Architecture University College, Dublin, 1994.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970

FOLEY, J. D., et al.. **Computer graphics: principles and practice**. 2. ed. in C. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1997.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel, 5. ed., 2001.

GHELFI FILHO; SILVA; I.J.O.; MOURA, D.J; CONSIGLIERO, F.R. **Índice de conforto térmico e da CTR para diferentes materiais de cobertura em três estações do ano**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina, p.94-110.

GRINGS, E. T. de O.; BEYER, P. O.. **Comparação entre resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente.** ENCAC 2003 – Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. Novembro 5-7, Curitiba, PR, 2003, p. 1074-1082

HAGEL, Arone P. L. A. **Análise computacional da demanda energética de climatização de edifício.** Brasília: UNB, 2005.

HITCHCOCK, R. J. **Advancing Lighting and a Daylighting Simulation: The Transición From Analysis to Design Aid Tools.** In: Building Simulation- Seventh International IBPSA Conference, Madison, USA, 1995

IEA - International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings & Community Systems. **Daylighting in buildings: A source book on daylighting systems and componentes.** Califórnia, EUA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.

INANICI, M. N.. **Application of the state – of – the – art computer simulation and visualization in architectural lighting research.** In: Seventh International IBPSA Conference, 2001. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro. 2001.

KRAUSE, C.B., SANTOS, M.J., NIEMEYER, M.L, PORTO, M.M., GOMES, A.M.R.C., TEIXEIRA, K.C. & GOMES, J.C.P. **Bioclimatismo no projeto de arquitetura: dicas de projeto.** PROARQ, DTC/FAU, UFRJ. 2004.

LAMBERTS, R. et al. **“Building simulation in Brasil”** em IBPSA, agosto de 2001

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

LAMBERTS, R; GHISI, E; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O. **Desempenho Térmico de Edificações.** Florianópolis : Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

LIBOS, P. R. R. – **Estudo das Condições Térmicas e Lumínicas em Três Habitações Unifamiliares no Conjunto Habitacional Grande Morada da Serra – Cuiabá-MT.** 2007. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 122f. Cuiabá, MT.

MACHADO, A.. **Máquina e imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas.** 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 320 p.

MACIEL, Alexandra A. **Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios.** Florianópolis, 2002. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

MASCARÓ, L. R. **Energia na residência, estratégia para minimizar seu consumo.** Projeto de Editores Associados, São Paulo, n° 81, p. 69, nov. 1991.

- MATO GROSSO. In: Wikipédia, a enciclopédia livre. 2001. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Mato_Grosso> acesado em 10/nov/2008
- MEIRINO, M. **Projeto Arquitetônico deve incorporar elementos de eficiência energética.** Revista Projeto Design, São Paulo, ed 291, Maio de 2004.
- MENEZES, M. S.. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS.** 2007. 130f. Dissertação (Mestrado em Infra-estrutura e Meio Ambiente) – Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2007.
- MIRANDA, L. AMORIM, L. **Atlas geográfico de Mato Grosso.** Cuiabá, 2001.
- NOGUEIRA, Y. S. **Sistema habitacional orientado para utilização de fontes de energia alternativa.** Trabalho Final de Graduação. Cuiabá, MT. 2002, p.2.
- OLIVEIRA, A. S.. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia em residências na cidade de Cuiabá/MT: estudo de caso.** 2007. 109f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- PEDRINI, A.. **Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmicas e Energéticas de Edificações.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-UFSC, 1997
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- PEREIRA, Cláudia D.; GHISI, Enedir. **Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis.** ENTAC 2008 – XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Outubro 7-10, Fortaleza, CE, 2008
- PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B.. **Iluminação.** Conforto Ambiental – Iluminação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2000, 51p.
- RAUBER, D. L., et al. **Análise de softwares de simulação térmica para diferentes climas e sala comercial,** ENTAC 93 – Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Novembro 17-19, São Paulo, SP, 1993, vol.2, pp. 795-802
- RIBEIRO, A. G. – **As escalas do clima.** *Boletim de Geografia Teórica*, v. 23, n45-46, 1993.
- ROMERO, M. A. B. **Encontro nacional de modelos de simulação de ambientes.** São Paulo: NUTAU, 1995.
- RONDON, C.E. - **Análise estatística de medidas de iluminância obtidas in loco e por simulação em habitações populares: estudo de caso em Cuiabá-MT** Cuiabá, 2007. 80 f. Dissertação - (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

SALDANHA, C. T.; SILVA, de A. M. C.; BOTELHO, C.. **Variações climáticas e uso de serviços de saúde em crianças asmáticas menores de cinco anos de idade: um estudo ecológico.** Jornal Brasileiro de Pneumologia. Brasília, DF, p. 492-498, 2005.

SAMPAIO, M. M. A. **Análise do desempenho térmico e lumínico de habitações populares em Cuiabá-MT.** Cuiabá, 2006. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

SILVA, W. T. P.; SILVA, L. M.; CHICHORRO, J. F.. **Gestão de recursos hídricos: perspectivas do consumo *per capita* de água em Cuiabá.** Eng. Sanit. Ambient. [online]. Rio de Janeiro, 2008, v. 13, n. 1, pp. 8-14.

STRAHLER, A. N.. **Physical geography.** New York : Wiley, 1951. 442 p.

STRAND, R. K. et al., 2000. **EnergyPlus: A new-generation energy analysis and calculation engine for building design.** Association of Collegiate Schools of Architecture Technology Conference, Cambridge, MA, July 2000.

TANABE, S. **Thermal Comfort Requirements in Japan.** Waseda, 1988. Tese de Doutorado - Waseda University.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S.. **Iluminação e Arquitetura.** Virtus s/c Ltda, São Paulo, SP, 2001.

VITTORINO, F.. **Estudo teórico-experimental de método de cálculo para a determinação de cargas térmicas, da temperatura e da umidade do ar e ambientes condicionados.** Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994

WARD, G. L., SHAKSPEARE, R.. **“Rendering with Radiance- The Art and Science of Lighting Visualization.”** Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco USA, 1998

WARD, Gregory J. **The RADIANCE lighting simulation and rendering system.** Computer Graphics Proceedings: Annual Conference Series, 1994. New York, p. 459-472, 1994.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis.** Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, 1999.

6.2 REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ALMEIDA, J. E. C.. **Desempenhos térmico, luminoso e energético de unidades de um conjunto habitacional implantado pelo programa de arrendamento**

residencial-par, em Maceió -AL, 2005. 162 f. Dissertação -(Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) -Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

CHRISTAKOU, E. D.. **A simulação computacional da luz natural alicada ao projeto de arquitetura.** 2004. 147f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo) -Universidade de Brasília. Brasília.

CONFORTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **HabitArmonia -Bio-arquitetura 2008.** Disponível em <<http://www.bio-arquitetura.net/modules/filosofia/files/ConfortoEficienciaEnergetica.pdf>> acessado em 10/nov/2008

ESTULANO, G. A. **O comportamento térmico de diferentes materiais utilizados nos painéis de fechamento vertical nas edificações da cidade de Cuiabá/MT Avaliação Pós-Ocupação.** Cuiabá, 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado) -Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

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

GRILLO, J. C. S.. **Reabilitação ambiental de edifício público moderno: O caso do palácio itamaraty,** 2005. 162 f. Dissertação -(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília.

LEÃO, E. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá.** 2007. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 147 f. Cuiabá, MT.

LEÃO, M. **Thermal Performance in Popular Housing for Regions with Tropical Climate: Study Case in Cuiabá -MT.** 2006. 105 f. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT.

MATOS, M.. **Uso de ferramenta computacional para análise de sistemas de iluminação natural: estudo de caso no prédio da Engenharia Civil -UFSC,** 2004. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso -(Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina.

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

RUAS, A. C.. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho.** Fundacentro, São Paulo, SP, 1999.

SCHMID, A. L.. **Simulação da luz natural: combinação dos algoritmos de raytracing e radiosidade e aplicações na Arquitetura**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 51-59, jul./set. 2004.

SIMULATION RESEARCH GROUP. **EnergyPlus Articles from the Building Energy Simulation User News**. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California at Berkeley Berkeley, 2003.

SPANNENBERG, M. G.. **Análise de desempenho térmico, cústico e lumínico em habitação de interesse social: Estudos de Caso em Marau-RS**, 2006. 189 f. Dissertação -(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -Universidade Federal de Santa Catarina.

TAVARES, S. G.. **Simulação computacional para projeto de iluminação em arquitetura**, 2007. 183 f. Dissertação - (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.