



ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VALORES DOS NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA OBTIDOS POR SIMULAÇÃO E MEDIDOS IN LOCO: ESTUDO DE CASO EM HABITAÇÕES POPULARES NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT

**Karyna A. C. Rosseti (1); Carlos Eduardo Rondon (2); Alfredo Jorge (3); Marta C. J.
A. Nogueira (4); Fernanda M. Franco (5)**

(1) Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Departamento de Física – Universidade Federal
de Mato Grosso, Brasil – email: karyna.rosseti@gmail.com

(2) Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Departamento de Física – Universidade Federal
de Mato Grosso, Brasil – email: dfisica@ufmt.br

(3) Departamento de Física – Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil –
email: alfredo@cpd.ufmt.br

(4) Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Departamento de Física – Universidade
Federal de Mato Grosso, Brasil – email: mcjan@ufmt.br

(5) Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Departamento de Física – Universidade
Federal de Mato Grosso, Brasil – email: fermifran@yahoo.com.br

RESUMO

Para desenvolver qualquer atividade o ser humano necessita de condições ambientais que lhe permitam um menor esforço na sua execução. Para que essas condições sejam alcançadas o arquiteto deve estabelecer um máximo controle da luz, do som e do calor em suas obras, garantindo, dessa forma, a qualidade dos espaços criados por elas. Pensando nisso seria muito mais fácil e eficaz a escolha de uma melhor atitude de projeto se pudéssemos recorrer a programas computacionais. Porem seria necessário, antes de tudo, uma avaliação da compatibilidade desses programas com a realidade climática local. O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de variância aplicada às medidas de iluminância realizadas in loco e obtidas por simulação computacional em dois períodos de 2006, nas estações chuvosa e seca nos dias 20 de março e 15 de maio na região de Cuiabá. Para obter um parâmetro comparativo foram realizadas das 8 às 17 horas medições in loco e simulação computacional pelo programa Desktop Radiance, utilizando os ambientes da cozinha em duas residências localizadas no bairro CPA IV em Cuiabá. Os resultados obtidos foram organizados em tabelas e gráficos para comparação. O modelo estatístico evidenciou a compatibilidade e adequação do programa ao clima de Cuiabá em todos os métodos utilizados.

Palavras chave: Iluminação, simulação, análise estatística.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é sem dúvida um dos temas mais atuais no que se diz respeito à arquitetura, a preocupação de atender às necessidades das atuais gerações sem comprometer os direitos das futuras gerações deveria constar na cartilha de cada profissional. O arquiteto deve se inter-relacionar com as questões de preservação ambiental, com a escassez de recursos energéticos e principalmente com o direito de todo ser humano de se sentir satisfeito com o ambiente que o circunda sem que para isso tenha que contrariar os valores da arquitetura sustentável recorrendo á recursos artificiais.

Somente nas últimas décadas esse discurso ambiental passou a incorporar às preocupações energéticas, como um mecanismo que contribuiria para o atendimento das metas estabelecidas no Protocolo de Kyoto. Assim irão aparecer as primeiras iniciativas visando a economia e o uso racional de energia elétrica, e foram nas edificações que essa política encontrou um amplo terreno de atuação.

A França foi a pioneira, desenvolvendo uma legislação direcionada ao uso racional da energia nas edificações. Durante os anos de 1973 e 1989 obteve uma economia de 42% neste setor e partir daí passou a ser copiada em toda a Europa. No início dos anos 90 foi a vez dos EUA, a legislação direcionada à economia e uso racional da energia elétrica em edificações passou a ser obrigatória em todos os estados.

A esse conceito que envolve diversos procedimentos e estratégias que visam garantir o uso racional da energia e conforto ambiental aos usuários, denominamos Eficiência Energética em Edificações (LAMBERTS, 1997). Esse tema só agora começa a chegar ao Brasil, provavelmente pelo fato de as hidroelétricas – responsáveis por 82,36% da energia elétrica produzida aqui – produzirem um impacto ambiental muito menor que as emissões atmosféricas das termoelétricas (padrão europeu e americano por exemplo) (ANEEL, 2002).

Além disso até 2000 a produção de energia elétrica vinha suprindo nossas necessidades. Até que no início do ano 2000, prevendo o risco de falha no abastecimento de energia elétrica do país, o governo federal determinou a redução no consumo de energia no setor público que deveria ser de 20% até 2002 (CENTRO DE MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 2007).

O setor de edificações residenciais e comerciais correspondem a 43% do consumo de energia elétrica no Brasil. Segundo Mascaró (1992), de 20 a 30% da energia consumida seriam suficientes para o funcionamento da edificação; 30 a 50% da energia consumida são desperdiçados por falta de controles adequados da instalação, por falta de manutenção e também por mau uso; 25 a 45% da energia são consumidos indevidamente por má orientação da edificação e por desenho inadequado de suas fachadas, principalmente, e ainda um mesmo projeto de edificação em locais diferentes, pode provocar aumento de até 80% da demanda de energia elétrica, por exemplo, quando se compara Belém e Porto Alegre (SANTOS, 2002).

O papel do arquiteto está na elaboração de projetos energeticamente eficientes, através de uma arquitetura compatível ao clima, considerando a iluminação natural integrada à artificial, na especificação de acabamentos e materiais adequados ao clima, no uso de ventilação natural, além de outros aspectos. Enfim na elaboração de uma edificação de fato coerente.

De todas as necessidades do ser humano, a lumínica é aquela que está relacionada não somente a manutenção da saúde mas também à comunicação. A visão permite ao homem avaliar as distâncias, definir formas, cores, volumes. Sendo assim toda iluminação precisa garantir a mais adequada visualização do espaço, o que será determinado pela atividade nele desenvolvida, de forma que reduza os esforços físicos que o olho terá de fazer para adaptar-se as condições ambientais e possa assim desenvolver a atividade em questão de forma mais eficiente.

Atualmente, a procura por melhores soluções arquitetônicas e elétricas para edificações é muitas vezes viabilizada através do uso de programas computacionais que permitem a simulação de diversas situações. A escolha de um sistema condicionador de ar eficiente, de lâmpadas e luminárias de alto rendimento; o projeto de proteções solares e até mesmo a análise das contas de energia elétrica de uma edificação torna-se muito mais fácil e eficaz através do uso de programas computacionais.

O Radiance, inicialmente desenvolvido para rodar em plataforma UNIX, é um pacote de ferramentas para auxiliar na análise e visualização de projetos de sistemas de iluminação naturais ou artificiais. A partir da elaboração geométrica do ambiente, dos materiais, dos móveis, das luminárias e lâmpadas e

da definição da data, hora do dia, tipo de céu, orientação solar além da latitude e longitude da área em estudo, o programa simula as condições de luz natural e artificial no ambiente.

O Desktop Radiance é uma interface gráfica do Radiance para o sistema operacional Windows, que se incorpora como um aplicativo na própria barra de ferramentas do programa AutoCAD (versões R14 e 2000) para incluir luminárias, lâmpadas, materiais nas superfícies e diversos objetos nos ambientes desenhados em 3 dimensões. O programa Desktop Radiance, versão 2.0 beta, desenvolvido no Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), na Califórnia, é fornecido gratuitamente pela internet através do site (<http://radsite.lbl.gov/deskrad/>).

2 OBJETIVO

Objetivo geral do trabalho foi realizar uma análise de variância para verificar a compatibilidade e a consistência com o clima local das medidas de iluminação natural realizadas in loco e as obtidas por simulação pelo programa Desktop Radiance em duas residências localizadas no bairro CPA IV em Cuiabá.

3 MÉTODO

Esse trabalho avalia estatisticamente o cálculo do nível da iluminação natural no ambiente construído realizado por um programa que simula a iluminação natural, *Desktop Radiance*. Para isso o estudo se estruturou em algumas etapas: Monitoramento dos ambientes selecionados, com obtenção de valores de níveis de iluminamento nos diversos pontos selecionados dentro do recinto e Simulação no programa *Desktop Radiance*, obtidos por Rossetti (2006). Comparação estatística entre valores reais e simulados para verificação da adequação do programa de simulação com o clima local.

3.1 Monitoramento da iluminação Natural

Para a realização do monitoramento foram escolhidas duas habitações, localizadas no CPA IV, em Cuiabá, estando as duas situadas na Rua Cegonho.

O ambiente escolhido foi a cozinha, por apresentar maior complexidade com relação a configuração do mobiliário e também por representar um espaço coletivo da casa, preservando os ambientes de maior privacidade, visto que estava ocupada.

O fechamento vertical das casas é feito em alvenaria de tijolo cerâmico, a cobertura em telha cerâmica e as esquadrias são metálicas. Na casa 2 foram feitas modificações com relação ao projeto inicial, como poderá ser visto nas imagens apresentadas à seguir. Nesta casa foi criada uma edícula nos fundos com cobertura em telha de fibrocimento que se prolonga até encontrar a cobertura original da casa. Também foi acrescido um cômodo na região frontal que originalmente constituía-se de um espaço aberto sem cobertura, como poderá ser visto na casa 1, que não obteve nenhuma alteração em seu projeto original.

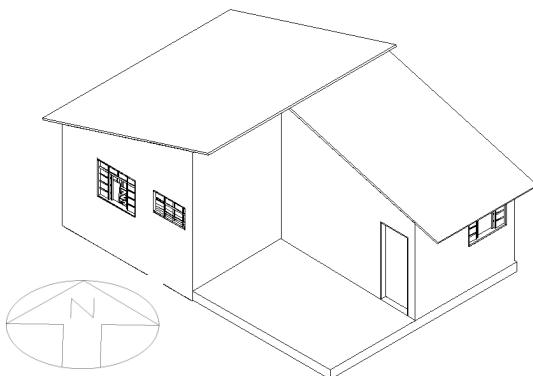


Figura 1– Perspectiva Isométrica - Casa 1 (Projeto original)

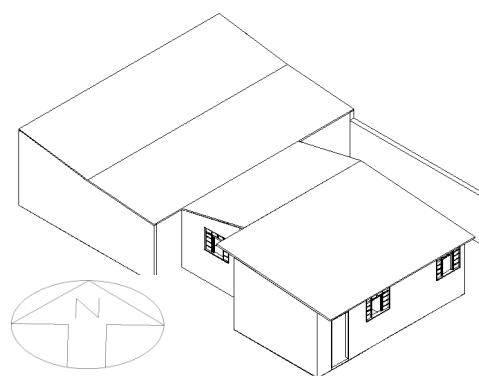


Figura 2 – Perspectiva Isométrica - Casa 2 (Com modificações no projeto original)

O intervalo temporal escolhido foi das 08 às 17 horas, pois corresponde a um período do dia com grande fornecimento de luz natural. As medições de iluminância nos ambientes foram realizadas de uma em uma hora, de forma a conseguir um acompanhamento da evolução da iluminação natural durante todo o período de estudo, e foram efetuadas nas duas casas simultaneamente. O processo foi repetido em duas estações do ano, a primeira foi realizada na estação chuvosa no dia 20 de março de 2006 e a segunda na estação seca no dia 15 de maio de 2006, para podermos analisar o comportamento da iluminação natural quando submetidas à dois períodos climáticos distintos.

As medições foram feitas com um luxímetro portátil da marca Minipa, modelo MLM 1332, mantendo o globo fotossensível voltado para cima de forma a captar a luz proveniente das superfícies superiores ao plano de trabalho.

Foram utilizados ainda uma trena de 5,00 metros para o levantamento das dimensões das casas e uma máquina fotográfica digital, para registrar as características do céu nos momentos das medições e assim facilitar a escolha do céu na simulação computacional.

O número mínimo de pontos necessários para uma verificação adequada do nível de iluminação natural foi obtido através da metodologia proposta pela norma NBR-15220 (2005), que determinou a necessidade de se dividir o ambiente em 9 áreas, no centro das quais se encontraria cada ponto de captura dos dados.

No entanto, devido ao fato do ambiente representar o espaço de uma cozinha, constatou-se a presença de móveis, geladeira e outros aparelhos domésticos, sendo necessária uma modificação no posicionamento inicial desses pontos, para que não coincidissem com o posicionamento de nenhum móvel presente no ambiente, como mostrado nas Figuras 03 e 04.

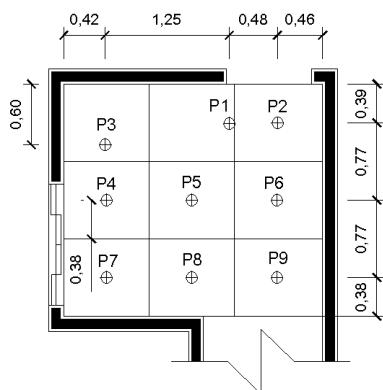


Figura 3 – Posicionamento dos pontos na casa 1 após adaptações necessárias devido ao posicionamento do mobiliário da cozinha.

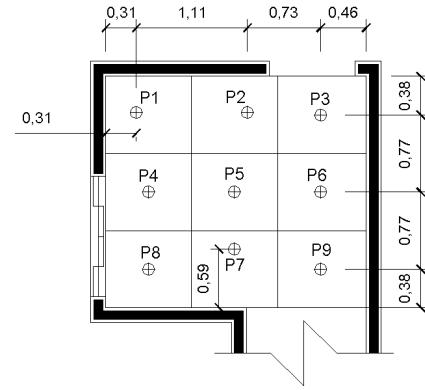


Figura 4 – Posicionamento dos pontos na casa 2 após adaptações necessárias devido ao posicionamento do mobiliário da cozinha

Para a determinação da refletância das superfícies internas foi utilizado o método do papel em branco. Através um luxímetro portátil e uma folha de papel branco comum (sulfite), deve-se manter a fotocélula do aparelho voltada para a superfície a qual se queira determinar a refletância, afastada desta 10 cm. Anota-se o valor obtido no luxímetro e em seguida cobre-se a superfície com o papel branco e mede-se novamente a refletância nesse mesmo ponto. Para o papel branco considera-se a refletância de 90%, a partir daí a refletância da superfície é conseguida por proporção.

Tabela 1– Valores de refletância obtidos na Casa 1

Superfície	Material	Refletância (%)
Parede	Alvenaria	83
Parede Impermeável	Alvenaria	36
Piso	Concreto	52
Forro	Madeira	37
Pia	Plástico	47
Geladeira	Metálica	94
Armário	Metálica	97
Fogão	Alumínio	46
Fogão	Metálica	104
Tapete	Tecido	31
Porta	Metálica	41

Tabela 2 – Valores de refletância obtidos na Casa 2

Superfície	Material	Refletância (%)
Parede	Alvenaria	85
Parede Impermeável	Alvenaria	64
Piso	Concreto	12
Cobertura	Telha Cerâmica	34
Mesa	Madeira	65
Geladeira	Metálica	80
Armário	Metálica	54
Fogão	Alumínio	25
Fogão	Metálica	104
Tapete	Tecido	24
Porta	Metálica	62
Gás	Metálico	36

3.2 Método para Simulação Computacional

3.2.1 Condições do Céu

Durante as medições, o céu foi fotografado, de dentro dos ambientes, para que as fotos fossem utilizadas como parâmetro na escolha do tipo de céu usado nas simulações. Porém quando as simulações se iniciaram percebeu-se que os valores obtidos a céu aberto e limpo da simulação se apresentavam inferiores aos medidos *in loco*, mesmo com tempo nublado. Assim a maior parte das simulações foram feitas a céu aberto como uma forma de potencializar os valores de iluminação obtidos.

3.2.2 Modelagem dos Ambientes

Para a simulação de iluminação natural ser efetuada é necessário fornecer ao programa os dados de localização dos ambientes estudados que englobam os dados referentes à cidade em estudo e a orientação solar da edificação. Foram utilizados aos dados de Latitude($15^{\circ}35'46''$ Sul) e Longitude ($56^{\circ}05'48''$ Oeste) para a cidade de Cuiabá.

Utilizando como parâmetro os valores obtidos pelas medições *in loco* deu-se início as simulações no programa AutoCAD 2000, sempre se limitando às técnicas de desenho aceitas pelo programa *Desktop Radiance* para a modelagem dos ambiente em 3 dimensões.

3.3 Análise Estatística

O modelo estatístico adotado foi uma análise de variância (Anova) que visa verificar se existe uma diferença significativa entre as médias das medidas e quais os fatores que exercem influência nas variáveis

dependentes. Portanto a principal aplicação da Anova é a comparação de médias de medidas oriundas de grupos diferentes.

A análise de variância permite que vários grupos sejam comparados a um só tempo, utilizando variáveis contínuas com distribuição normal. Assim, os grupos diferentes são compostos de duas variáveis dependentes, as medidas de iluminância obtidas *in loco* e as obtidas por simulação, dadas em lux.

Os fatores são as variáveis independentes: as datas de 20 de março de 2006 (estação chuvosa) e 15 de maio de 2006 (estação seca); os períodos do dia das 8 às 17 horas; as casas 1 e 2 e as interações duplas e triplas entre data, hora, ponto e fonte.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos pela Anova podem ser observados no Quadro 2, que em síntese mostra os seguintes resultados:

- a) Não se observou diferença significativa(sig baixo) entre os valores de iluminância medidos e o simulado, o que evidencia um bom desempenho do modelo de simulação utilizado;
- b) Existe uma diferença significativa(sig alto) associada à interação entre fonte e data, o que leva a inferir que a simulação possui desempenhos diferenciados conforme a estação do ano;
- c) Observou-se diferença significativa(sig alto) nas medidas de iluminância entre as casas e para as interações hora*casa, data*casa e ponto*casa, o que salienta a influência dos aspectos construtivos e de localização;
- d) As medidas de iluminância diferem conforme as datas (estações do ano) e hora, mas não se observou diferença significativa para a interação entre estes fatores.

Quadro 1 – Teste de interação - Variável dependente: Lux

Fonte	Soma dos quadrados	df	Média dos quadrados	F	Sig.
Modelo Corrigido	18918176023.270(a)	414	45696077.351	3.440	0.000
Interceptação	962003104.628	1	962003104.628	72.410	0.000
Data	149849546.862	1	149849546.862	11.279	0.001
Hora	871148562.700	9	96794284.744	7.286	0.000
Ponto	1891552091.605	8	236444011.451	17.797	0.000
Casa	786199313.895	1	786199313.895	59.178	0.000
Fonte	6452298.241	1	6452298.241	0.486	0.486
data * hora	92626117.481	9	10291790.831	0.775	0.640
data * ponto	738936827.687	8	92367103.461	6.953	0.000
data * casa	139141400.733	1	139141400.733	10.473	0.001
data * Fonte	268560236.042	1	268560236.042	20.215	0.000
hora * ponto	3054104795.996	72	50751455.500	3.820	0.000
hora * casa	868089808.786	9	96454423.198	7.260	0.000
hora * fonte	111975385.778	9	12441709.531	0.936	0.494
ponto * casa	1987021410.824	8	248377676.353	18.696	0.000
ponto * fonte	56471459.077	8	7058932.385	0.531	0.833
casa * fonte	4331511.940	1	4331511.940	0.326	0.568
data * hora * ponto	1200214110.563	72	16669640.424	1.255	0.099
data * hora * casa	82498786.089	9	9166531.788	0.690	0.718
data * hora * fonte	217242864.138	9	24138096.015	1.817	0.065
data * ponto * casa	751655919.835	8	93956989.979	7.072	0.000
data * ponto * fonte	498388512.352	8	62298564.044	4.689	0.000
data * casa * fonte	251172731.339	1	251172731.339	18.906	0.000
hora * ponto * casa	3661264677.745	72	50850898.302	3.828	0.000
hora * ponto * fonte	463828742.838	72	6442065.873	0.485	1.000
hora * casa * fonte	110533114.827	9	12281457.203	0.924	0.504
ponto * casa * fonte	54915795.898	8	6864474.487	0.517	0.844
Erro	4052051258.942	305	13285413.964		
Total	23932230466.839	720			
Total Corrigido	22970227282.212	719			

a R Quadrado = 0.824 (R Quadrado Estimado = 0.584)

Sig- nível de significância

Quadro 2 – Fonte - Variável dependente : Lux

Fonte	Erro médio padrão		95% Intervalo de confiança	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
Medido	1250.570	192.104	872.553	1628.587
Simulado	1061.239	192.104	683.222	1439.256

Observa-se no Quadro 2, que as médias dos valores de iluminância medidos e simulados obtidos pela análise estatística ficaram bem próximos.

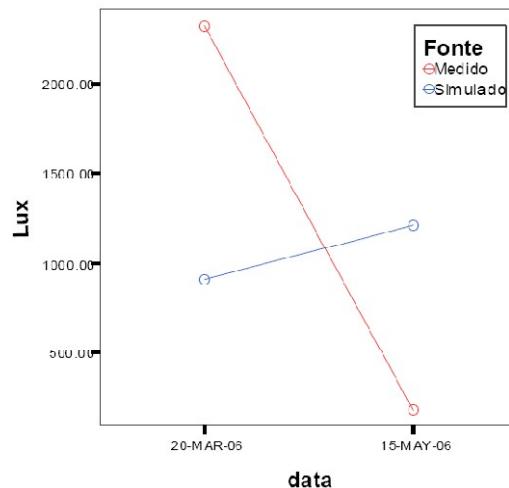


Figura 5 – Iluminância medida e simulada

A Figura 05, mostra que o modelo de simulação subestima valores de iluminância em março e superestima em maio, o que pode indicar a presença de nuvens na estação chuvosa e céu mais limpo na estação seca.

Quadro 3 – Casa – Variável Dependente: Lux

Casa	Erro médio padrão		95% Intervalo Confiança	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
1	2200.866	192.104	1822.849	2578.882
2	110.944	192.104	-267.073	488.960

Quadro 4 – Casa * Data - Variável dependente: Lux

Casa	Data	Erro médio padrão		95% Intervalo de confiança	
		Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
1	20-MAR-06	3096.676	271.676	2562.080	3631.273
	15-MAI-06	1305.055	271.676	770.458	1839.651
2	20-MAR-06	127.546	271.676	-107.051	662.112
	15-MAI-06	94.341	271.676	-440.255	628.938

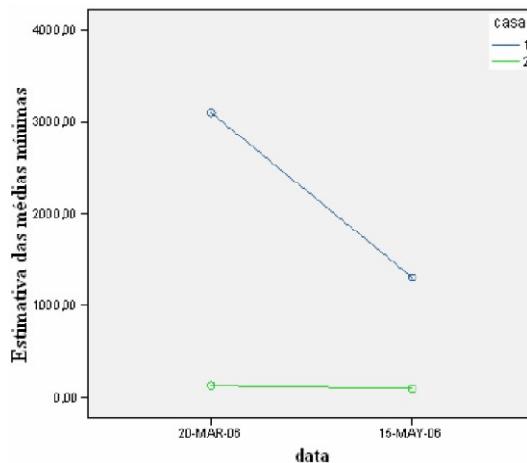


Figura 6 – Estimativa das médias mínimas

Quando se leva em conta o fator Casa * Data, os Quadros 3 e 4 e a Figura 6 percebe-se maior regularidade no comportamento da média das medidas de iluminância da casa 2 em relação à casa 1, o que leva a admitir que o padrão construtivo e a localização da casa 2 são melhores.

Quando se leva em conta o fator “hora”, observa-se na Figura 7 maior regularidade no comportamento da média das medidas de iluminância da casa 2 em relação à casa 1, o que leva a admitir que o padrão construtivo e a localização da casa 2 são melhores.

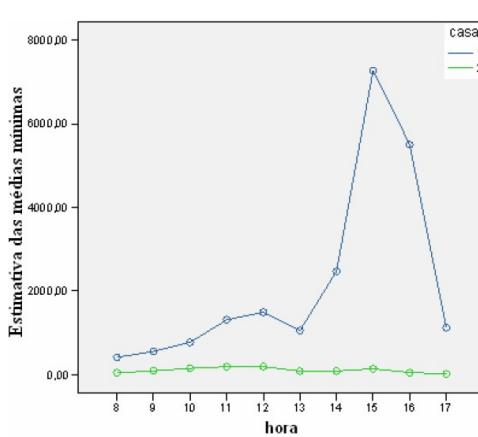


Figura 7 – Gráfico da Estimativa das médias mínimas pelas Horas

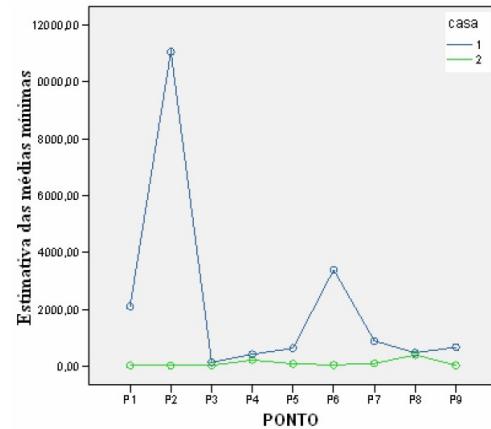


Figura 8 – Gráfico da Estimativa das médias mínimas pelo ponto

Quando se leva em conta o fator “ponto”, observa-se na Figura 8 que devido a localização, por estarem próximos a janela, os pontos 2 e 6 na casa 1 possuem valores mais elevados de iluminância, por receberem radiação direta.

5 CONCLUSÃO

Pelos resultados da análise estatística, podemos concluir que houve um bom desempenho do modelo de simulação em reproduzir os resultados reais do aproveitamento da luz natural no ambiente estudado. Isso comprova a compatibilidade e a consistência deste programa com o clima da cidade de Cuiabá, podendo o *Desktop Radiance* ser utilizado como ferramenta de projeto pelos arquitetos locais.

O estudo verificou também que a simulação possui desempenhos diferenciados conforme a estação do ano, sendo que na estação chuvosa os valores simulados subestimam os valores reais enquanto que na estação seca esses valores são superestimados.

Verificou-se ainda uma influência dos aspectos construtivos e de localização, sendo que as características encontradas na casa 2 possibilitaram uma maior regularidade no comportamento das médias das medidas de iluminância

As medidas de iluminância também diferem conforme as datas e horas, mas não se observou diferença significativa para a interação entre estes fatores.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 15220** - Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 15p, 2005.

CENTRO DE MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, Disponível em:
<<http://www.memoria.eletrobras.gov.br/historia.asp>>. Acesso em: 20 mai
2007.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. - **Eficiência Energética na Arquitetura** .Ed. PW.
188 p.. São Paulo, 1997

MASCARÓ, J.L.; MASCARÓ, L.R. - **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** 2^a.ed. Porto Alegre. Ed. Luzzatto, 1992.

ROSSETI, K. A. C. - **Uso de ferramenta computacional para análise do desempenho lumínico em edificações: estudo de caso em habitações populares de Cuiabá.** Cuiabá, 2006. 100 f. Monografia – Curso de Arquitetura – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso.

SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnicocientífico informacional.** São Paulo: Hucitec, 1998.