

CARACTERIZAÇÃO DE VARIÁVEIS DE OCUPAÇÃO DA REITORIA DA UFRN ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURAS INTERNAS E CONSUMO ENERGÉTICO

Raoni Venâncio (1); Aldomar Pedrini (2); Carolina Lima (3)

UFRN / Campus Lagoa Nova – CEP 59072-970 – Natal-RN / LabCon (84) 3215 3722

(1) raoni_vsl@yahoo.com.br

(2) apedrini@ufrnet.br

(3) carolina_clima@terra.com.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo a caracterização dos padrões de ocupação influentes no consumo de ar condicionado, iluminação e equipamentos do edifício da Reitoria da UFRN. Para a definição da temperatura de controle, foram monitoradas as temperaturas internas de oito salas condicionadas durante duas semanas. Os horários de acionamento e desligamento do ar condicionado foram obtidos a partir do monitoramento do consumo de ar condicionado durante onze semanas. Devido à impossibilidade de monitoramento por uso final, as rotinas de iluminação e equipamentos foram derivadas de um monitoramento de consumo geral dos dois transformadores da edificação durante duas semanas, sendo subtraída a parcela referente ao consumo de ar condicionado. As densidades de potência de iluminação e equipamentos (computadores e equipamentos de escritório) foram obtidas a partir de um levantamento detalhado de lâmpadas e equipamentos da edificação. Os dados de ocupação resultantes devem respaldar modelos que representem edificações administrativas do CAMPUS utilizando o programa DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2000-2005.

ABSTRACT

This paper aims to characterize the occupation schedules that influence HVAC, lighting and equipment consumption of UFRN Administration Building. To obtain the set point temperature, the internal temperatures of eight air conditioned rooms were monitored during two weeks. The schedules for HVAC equipments were achieved with the monitoring of HVAC consumption for eleven weeks. Due the impossibility of end-use monitoring, the lighting and equipment schedules were derived of a global consumption monitoring of the two transformers of the building during two weeks, being HVAC data subtracted of these global consumption values. The lighting, computer and equipments Power Densities (LPD, CPD and EPD) were obtained with a detailed inventory. The resulting data addresses models that are intended to represent general administrative buildings of the CAMPUS using the simulation software DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2000-2005.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo busca caracterizar algumas variáveis de ocupação do edifício da Reitoria da UFRN para adoção dessas variáveis em simulações energéticas utilizando o *software* DESIGNBUILDER (2005).

As condições de ocupação investigadas neste trabalho se referem ao uso dos sistemas de iluminação (rotinas e densidade de iluminação – *Light Power Density*), equipamentos (rotinas e densidade de equipamentos – *Equipment Power Density*) e condicionamento de ar (rotinas e temperatura de controle).

A caracterização dos padrões de uso de uma edificação pode influenciar dramaticamente os resultados de simulações porque está associada com o período e a intensidade que sistemas elétricos são acionados, consumindo energia e liberando carga térmica para o ambiente. A adoção de parâmetros de ocupação condizentes com a realidade que se deseja expressar no modelo (seja uma edificação ou um conjunto de edificações de comportamento similar) garante maior precisão no estudo da influência das modificações de envoltória e sistemas (ar condicionado e iluminação).

Alguns procedimentos de coleta de dados e calibração do modelo são avaliados e propostos por PEDRINI (1997). O autor avalia cinco métodos de calibração com diferentes níveis de complexidade e precisão que permitem uma maior sistematização do processo de coleta de dados e modelagem de uma edificação real.

Com base nessa pesquisa, PEDRINI e LAMBERTS (2001) apresentaram abordagens para calibração do modelo. No tocante às variáveis de ocupação os procedimentos identificados pelos autores são:

- Levantamento de iluminação e equipamentos (contagem de lâmpadas e equipamentos com potência nominal);
- Levantamento do sistema de ar condicionado (eficiência, sistema adotado, temperatura de controle, infiltração, etc.);
- Definição das rotinas de iluminação, ocupação e ar condicionado;
- Histórico mensal de pelo menos um ano;
- Monitoramento horário de um período considerável;

Neste trabalho, a metodologia apresentada por PEDRINI e LAMBERTS (2001) foi parcialmente aplicada devido à indisponibilidade de históricos de consumo e à impossibilidade técnica de monitoramento por uso final.

Os dados e rotinas de ocupação aqui definidos serão utilizados posteriormente como variáveis fixas em simulações hipotéticas. Essas simulações visam representar o universo de edificações administrativas do CAMPUS da UFRN, de ocupação supostamente similar à da Reitoria. Dessa forma, pretende-se fornecer aos modelos hipotéticos alguma relação com a realidade do universo da pesquisa, considerando a Reitoria como principal referência da ocupação administrativa no CAMPUS.

O programa escolhido para as simulações é o DESIGNBUILDER devido à sua interface gráfica e sua plataforma de cálculo, que emprega um segundo programa, o *EnergyPlus*, (CRAWLEY e LAWRIE *et al.* 2001). Trata-se de uma das melhores opções disponíveis, que combina versatilidade de modelagem com confiabilidade dos resultados. Os dados de entrada de ocupação mais relevantes do *software* são:

- Densidade de carga de iluminação artificial ou LPD (*Light Power Density*), densidade de carga de equipamentos de escritório ou OEPD (*Office Equipment Power Density*) e densidade de carga instalada de computadores ou CPD (*Computer Power Density*), todos em unidade de potência por área (W/m^2);
- Rotinas de iluminação, de equipamentos, de ar condicionado e de ocupação;
- Temperatura de controle do ambiente (controle de termostato do ar condicionado);

2. O EDIFÍCIO

O edifício da Reitoria é composto, basicamente, por salas administrativas, distribuídas em dois pavimentos, um auditório e uma cantina, totalizando área aproximada de 4.500m² (Figura 1).

Os blocos administrativos (em vermelho na Figura 1) são formados por células individuais (salas), condicionadas por equipamentos de ar condicionado individuais (de janela). As salas administrativas são dispostas ao longo de corredores centrais e átrios internos.

A partir do levantamento de campo realizado e das plantas das instalações elétricas do bloco, foram identificadas todas as salas condicionadas artificialmente. Ao todo, a Reitoria possui, aproximadamente, 2.030m² de área condicionada, o que representa 45% da área total da edificação. Essa porcentagem relativamente pequena de área condicionada se deve à presença significativa de átrios internos e corredores não-condicionados.

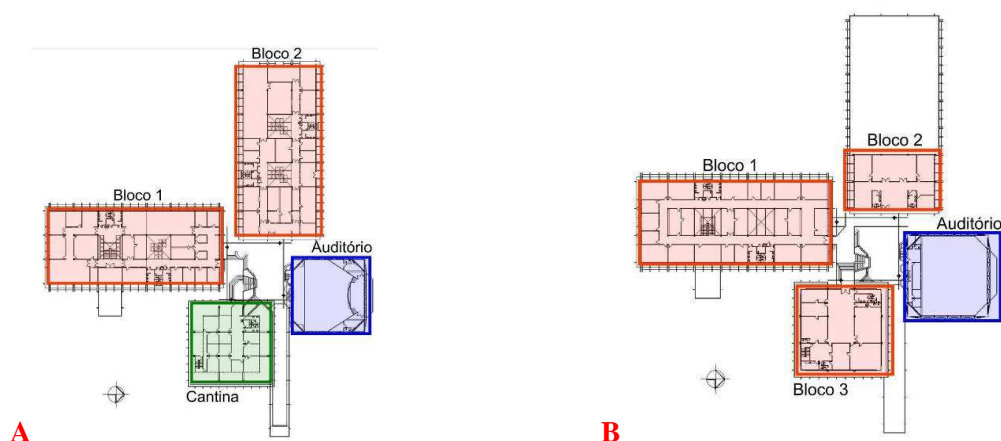


Figura 1 - Plantas esquemáticas da Reitoria. A) Térreo; B) 1º pavtº.

3. DEFINIÇÃO DA TEMPERATURA DE CONTROLE

O monitoramento de temperatura foi realizado em oito salas condicionadas da Reitoria entre os dias 26/07/2006 e 08/08/2006. Para isso, foram posicionados oito sensores e armazenadores de dados da marca HOBO, programados para medições a cada 10 minutos.

As salas foram selecionadas por sugestão do administrador do bloco, segundo critérios de segurança dos equipamentos de medição e a existência de um ou mais equipamentos de ar condicionados. Foram posicionados os sensores em quatro salas térreas e em quatro salas no primeiro pavimento.

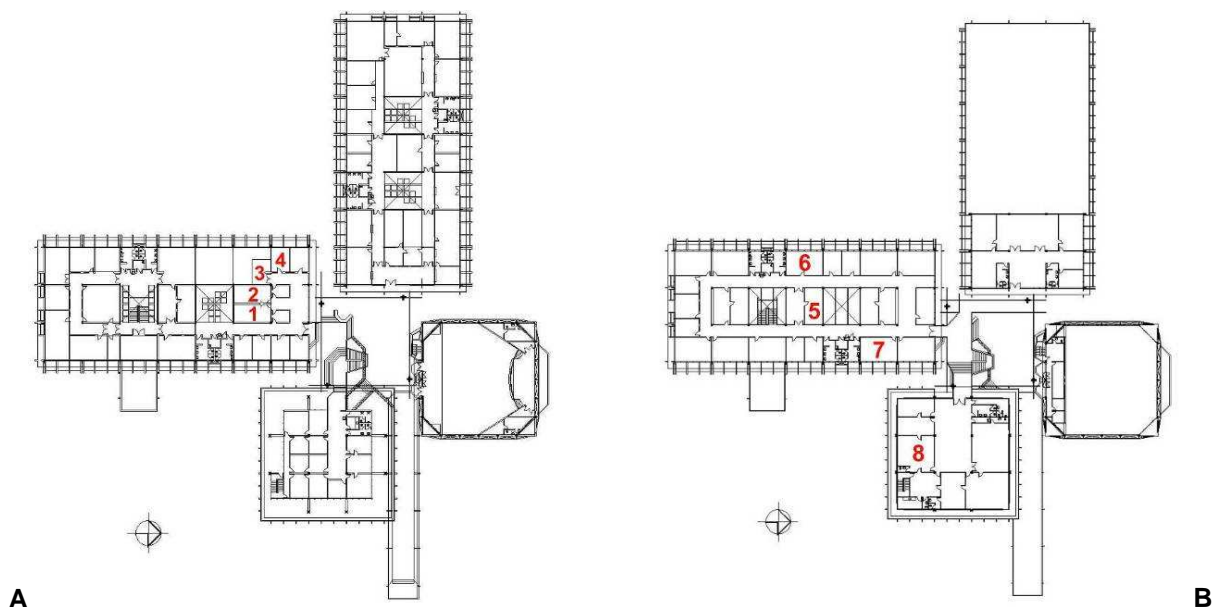


Figura 2- Localização dos HOBOS: A) Planta térreo; B) 1º pavtº.

3.1 Resultados do monitoramento

Nas primeiras análises, os dados de cada HOBO foram analisados graficamente. Essa análise, apesar de superficial, permitiu identificar, de imediato, casos bastante atípicos, como foi verificado, por exemplo, na análise dos dados do HOBO 3. Os dados desse HOBO foram descartados das demais análises por ter sido identificado, através das temperaturas, que o equipamento de ar condicionado se manteve funcionando durante o período da noite até o início do expediente, quando supostamente era desligado.

As análises gráficas do HOBO 1 (Figura 3) indicam uniformidade durante horas de desocupação e maiores oscilações de temperatura durante o período de acionamento do equipamento de ar condicionado. Durante o horário de ocupação durante os dias de atividade, foram registradas

temperaturas entre 23,6 e 26,3°C. Apesar da aparente não-uniformidade dos dados durante a ocupação da sala, percebe-se uma tendência de ocorrência de menores temperaturas entre 8:00 e 10:00 horas da manhã, e entre 15:00 e 16:00 da tarde.

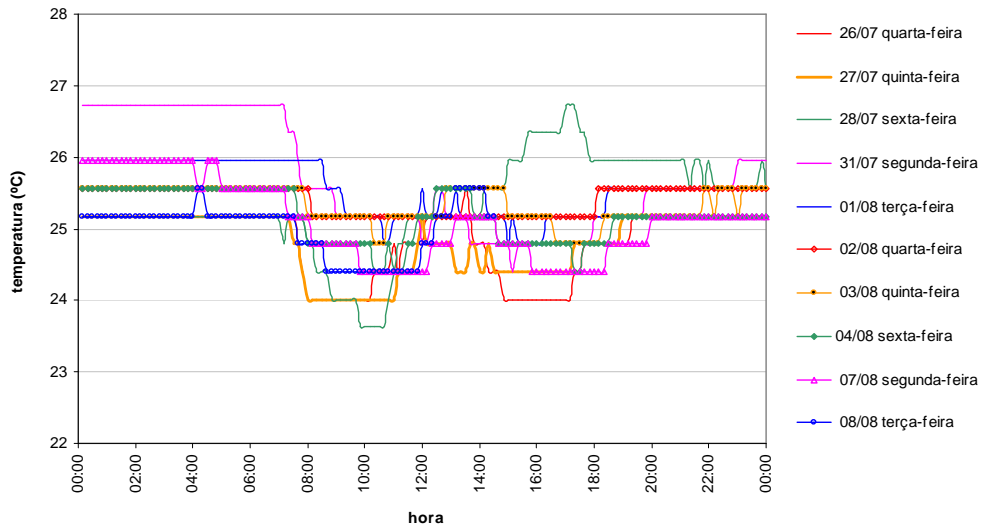


Figura 3 – Gráfico do monitoramento de temperatura durante os dias úteis (HOBO 1).

Para caracterizar as temperaturas de maior ocorrência, foi realizada uma análise da ocorrência de temperaturas em intervalos de 0,5°C. Nessa análise foram consideradas somente as horas que compreendem o horário comercial (entre 8:00h e 12:00h e entre 14:00h e 18:00h). O recorte dos intervalos de tempo visa descartar os períodos de não-ocupação, como fins de semana e horários de almoço, períodos nos quais se supõe que os equipamentos de ar condicionado estão desligados. Na Figura 4, são apresentados os dados segundo as ocorrências de temperaturas em intervalos de 0,5°C.

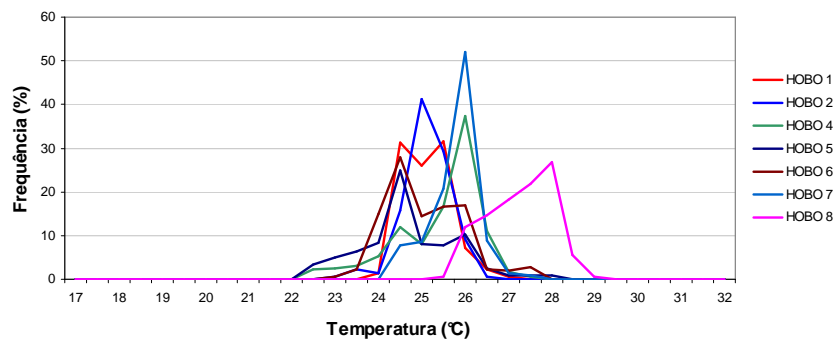


Figura 4 - Gráfico da ocorrência de temperaturas registradas pelos sete equipamentos considerados em cada intervalo de 0,5°C.

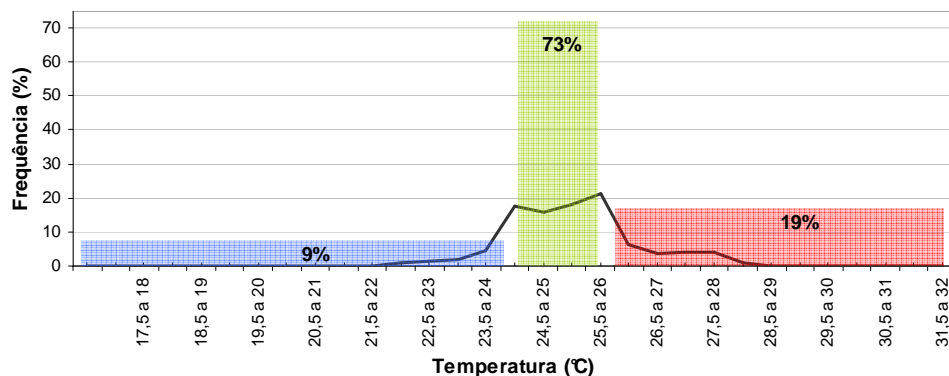


Figura 5 - Ocorrência total dos dados de temperatura dos sete HOBOS.

O gráfico da Figura 5 apresenta a ocorrência dos dados de temperatura dos sete HOBOS considerados (excluindo-se o HOBOS 3). Apesar da grande amplitude absoluta, a faixa de maior ocorrência está compreendida no intervalo de temperatura acima de 24°C e abaixo de 26°C. Nessa faixa, foram registradas 73% das ocorrências.

Como as oscilações de temperatura de cada sala são bastante diferenciadas, a definição da temperatura de controle considerou somente o intervalo de maior ocorrência. Considerando que as maiores oscilações ocorrem no intervalo entre 24°C e 26°C (73% das ocorrências) e que o *software* admite apenas um valor para temperatura de controle, resolveu-se adotar a média desse intervalo de maior ocorrência, o que corresponde à temperatura de 25,1°C.

4. MONITORAMENTO DE CONSUMO DE AR CONDICIONADO

O monitoramento de consumo foi realizado com um medidor de consumo e demanda de energia elétrica modelo SAGA 4000. Essa coleta de dados foi realizada ao longo de 11 semanas, com um intervalo de duas semanas entre a 5ª e a 6ª semana, conforme a Tabela 1. O equipamento SAGA foi programado para monitorar o consumo a cada 5 minutos.

Tabela 1 – Cronograma de monitoramento; em cinza, os dias sem atividade (feriados e fins de semana).

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Semana 1	7/8/2006	8/8/2006	9/8/2006	10/8/2006	11/8/2006	12/8/2006	13/8/2006
Semana 2	14/8/2006	15/8/2006	16/8/2006	17/8/2006	18/8/2006	19/8/2006	20/8/2006
Semana 3	21/8/2006	22/8/2006	23/8/2006	24/8/2006	25/8/2006	26/8/2006	27/8/2006
Semana 4	28/8/2006	29/8/2006	30/8/2006	31/8/2006	1/9/2006	2/9/2006	3/9/2006
Semana 5	4/9/2006	5/9/2006	6/9/2006	7/9/2006	8/9/2006	9/9/2006	10/9/2006
Semana 6	25/9/2006	26/9/2006	27/9/2006	28/9/2006	29/9/2006	30/9/2006	1/10/2006
Semana 7	2/10/2006	3/10/2006	4/10/2006	5/10/2006	6/10/2006	7/10/2006	8/10/2006
Semana 8	9/10/2006	10/10/2006	11/10/2006	12/10/2006	13/10/2006	14/10/2006	15/10/2006
Semana 9	16/10/2006	17/10/2006	18/10/2006	19/10/2006	20/10/2006	21/10/2006	22/10/2006
Semana 10	23/10/2006	24/10/2006	25/10/2006	26/10/2006	27/10/2006	28/10/2006	29/10/2006
Semana 11	30/10/2006	31/10/2006	1/11/2006	2/11/2006	3/11/2006	4/11/2006	5/11/2006

A análise inicial dos dados de cada semana procurou, primeiramente, sobrepor todos os dias de cada semana, como exemplificado na Figura 6.

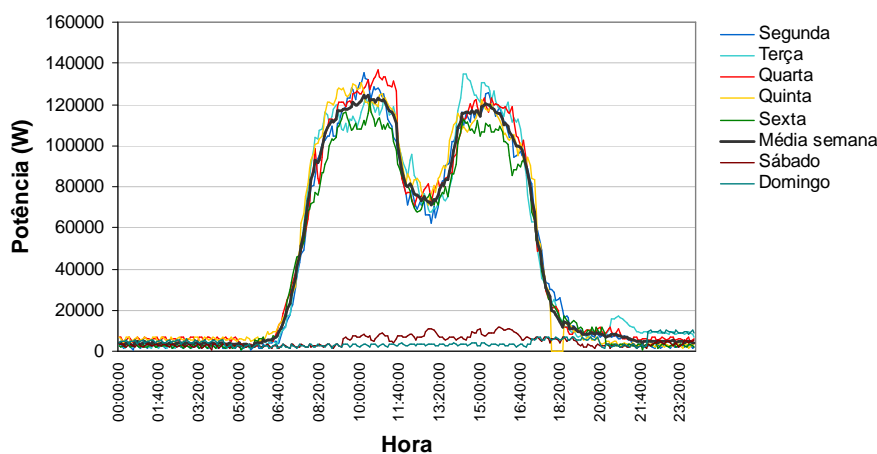


Figura 6 – Consumo de Ar condicionado da Semana 1.

A análise prévia de cada semana indicou bastante regularidade no consumo de ar condicionado referente aos dias úteis de cada semana. Dessa forma, procurou-se sobrepor, num segundo momento, os dias médios de cada uma das onze semanas, conforme a Figura 7.

Todavia, com a identificação do dia médio das 11 semanas analisadas, verificou-se que, apesar de haver um padrão bem definido, a amplitude nos horários de pico varia bastante.

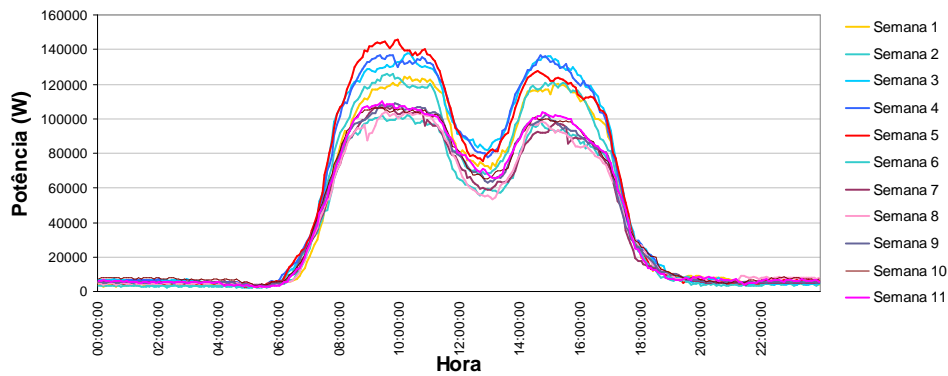


Figura 7 – Dias médios das 11 semanas de monitoramento

Para facilitar a visualização, caracterizamos o dia médio, o dia máximo e o dia mínimo, conforme a Figura 8. Nesse gráfico, podemos identificar que a amplitude entre as médias e máximas varia até 18% (nos períodos da manhã e da tarde), e entre as médias e mínimas 17% (no período da tarde) e 13% (no período da manhã).

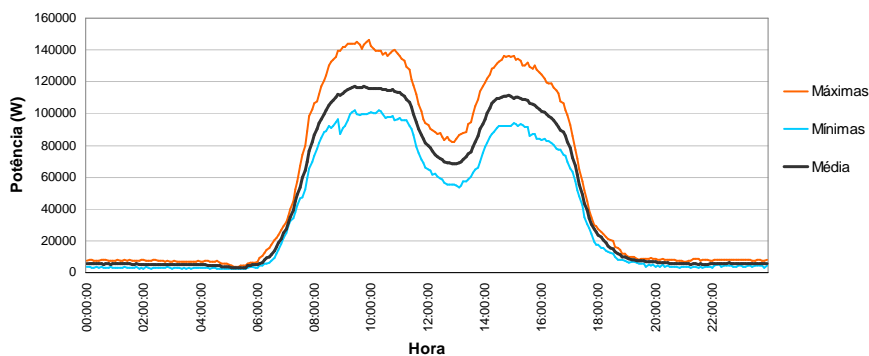


Figura 8 – Consumo do Dia médio, máximo e mínimo

Apesar das variações durante o período de ocupação das salas, percebe-se que há regularidade nos horários de acionamento e desligamento dos equipamentos. De acordo com a rotina de consumo monitorada (Figura 9), o condicionamento começa a ser acionado às 6:00 horas da manhã, atingindo seu pico às 9:00. Há uma queda de cerca de 40% entre os dois turnos de ocupação. No fim do expediente, os equipamentos são desligados a partir das 16:00 até as 18:00h.

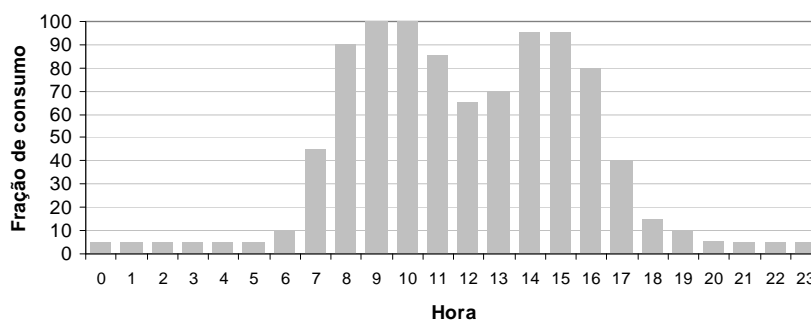


Figura 9 – Rotina de consumo de ar condicionado (monitorada).

A modelagem de uso do ar condicionado é restrita aos horários de acionamento e à temperatura de controle porque sua intensidade de uso é calculada pelo programa. Dessa forma, a rotina adotada, apresentada na Figura 10, considera como horário de acionamento às 8:00h (consumo maior do que 80%) e de desligamento às 18:00h (consumo menor do que 20%).

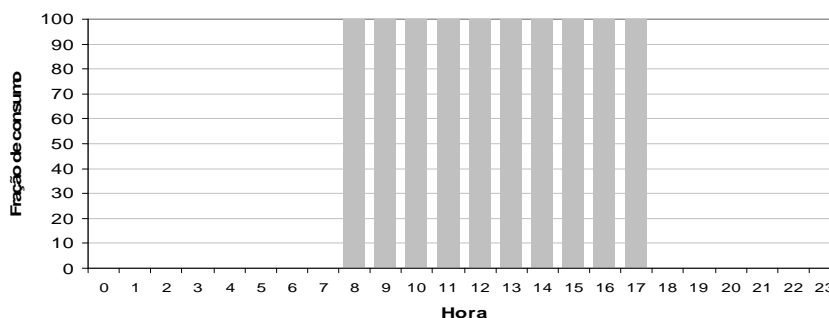


Figura 10 – Rotina de condicionamento adotada.

5. ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

5.1 Rotina

Durante as etapas iniciais do trabalho, pretendia-se realizar, em paralelo ao monitoramento de consumo por ar condicionado, um monitoramento das cargas de iluminação e equipamentos. Entretanto, foi verificado *in loco* que os quadros elétricos da edificação não permitiam a discriminação das cargas e das áreas atendidas por cada circuito. Essa constatação foi reforçada ao consultar os engenheiros e técnicos responsáveis pela manutenção do sistema, quando obtivemos informações bastante divergentes acerca desses circuitos e das áreas por eles atendidas.

Ademais, apesar de haver disponíveis três medidores SAGA 4000 (além do instalado no quadro de ar condicionado), foi identificado que os medidores de corrente dos três equipamentos sobressalentes eram indicados apenas para pequenas cargas, sendo impossibilitada a alternativa de monitoramento geral em paralelo ao monitoramento de ar condicionado.

Dessa forma, o equipamento destinado ao monitoramento do consumo de ar condicionado foi retirado por um período de quinze dias (entre as semanas 5 e 6, ver Tabela 1) para um monitoramento global. Contudo, como a Reitoria possui dois transformadores e apenas um dos medidores de cargas se apresentou adequado, foi impossibilitado o monitoramento em paralelo. Assim sendo, cada transformador foi monitorado durante uma semana, e considerou-se a soma da média dos dias úteis de cada semana como uma projeção do consumo geral diário.

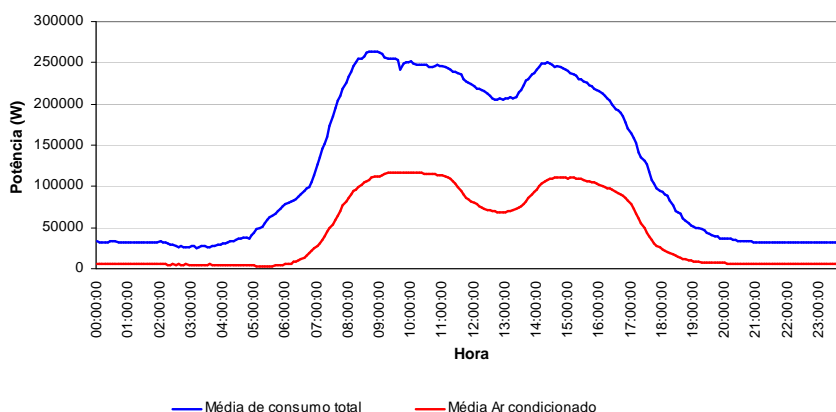


Figura 11 – Média de consumo total x Média Ar condicionado.

A rotina de ocupação de equipamentos e iluminação é derivada da subtração entre a curva assumida como geral e a parcela referente ao consumo por ar condicionado. O resultado da subtração foi convertido em dados de fração de consumo (considerando o valor máximo igual a 1), conforme a Figura 12.

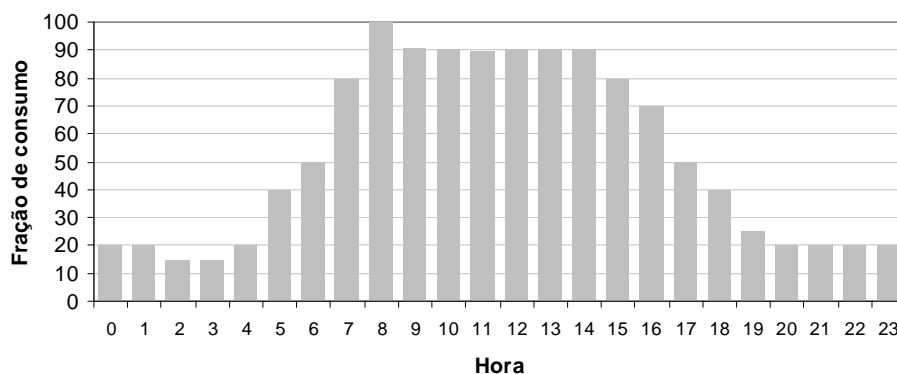


Figura 12 – Rotina de Iluminação e equipamentos.

5.2 Densidade de cargas

Para identificar as densidades de iluminação, equipamentos de escritório e computadores (variáveis de entrada requeridas pelo programa) foi realizado um levantamento detalhado de lâmpadas e equipamentos, no qual foram identificadas as potências nominais de cada item.

O valor da densidade de iluminação (LPD) foi obtido a partir da soma das potências nominais corrigidas conforme PEDRINI, WESTPHAL *et al.* (2002) e WESTPHAL *et al.*(2002). Os autores adotaram a potência de 100W para um conjunto de duas lâmpadas de 40W com um reator, o que significa que a potência total do conjunto é 125% da potência nominal das lâmpadas.

Sendo assim, foi identificado após o somatório das potências nominais, da correção de seu valor e da divisão pela área total da edificação, que a densidade de carga de iluminação (LPD) na Reitoria é de 17W/m².

O somatório das potências nominais de equipamentos de escritório indicou uma densidade de carga de 8 W/m², enquanto que a densidade de carga referente aos computadores foi de 5 W/m².

5.3 Validação dos resultados de densidade de cargas

Como as variáveis de iluminação e equipamentos independem da envoltória, foi realizada uma simulação-teste para verificar se as variáveis simuladas apresentavam valores próximos aos dados monitorados.

Esse modelo-teste possui todos os dados de entrada *default*, à exceção das rotinas de iluminação e equipamentos e os valores de densidades de carga (LPE, EOPD e CPD).

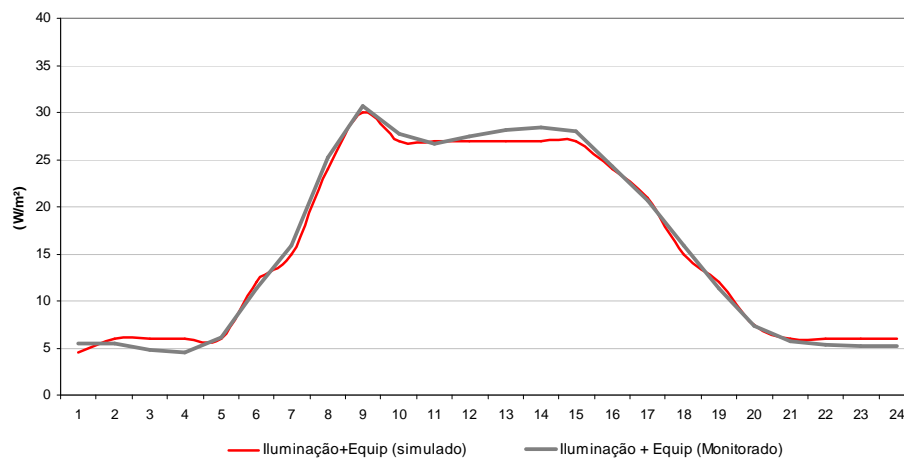


Figura 13 – Consumo de Iluminação e Equipamentos por área: Simulado x Monitorado

Os resultados da primeira simulação, conforme a Figura 13, indicam que há bastante similaridade entre as curvas monitoradas e simuladas, o que atesta a validade dos dados de densidade de cargas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho surgiu da necessidade de melhor representar, no modelo de simulação, variáveis de ocupação que representassem o uso administrativo do CAMPUS. Dessa forma, a Reitoria Universitária foi selecionada por ser considerada uma edificação bastante emblemática desse tipo de ocupação.

Foi verificado, a partir da análise dos dados de temperatura, que o uso de ar condicionado ocorre de forma bastante diversificada porque seus usuários não manipulam o termostato adequadamente. Eles preferem ligar ou desligar o funcionamento do ar condicionado, ao invés de fixar uma temperatura de conforto que aciona o compressor. Por essa razão, as diferenças de oscilação de temperatura têm relação estreita com o usuário, além de ser também influenciada por fatores como dimensionamento do equipamento, tamanho e layout das salas, exposição à radiação solar, dentre outros. Contudo, mesmo sendo constatado que há um uso bastante heterogêneo, foi identificado um intervalo de ocorrência significativa, do qual foi extraída a temperatura de controle de 25°C.

O monitoramento de consumo, ao contrário, indica bastante regularidade no consumo de ar condicionado. Afora as variações durante os períodos de atividade, há um rígido padrão no acionamento e desligamento dos equipamentos. Dessa forma, foi estabelecida a rotina do ar condicionado, com acionamento total às 8:00h e desligamento total às 18:00h.

A rotina de Iluminação e Equipamentos derivou de um monitoramento dos dois transformadores da Reitoria. Devido às limitações dos medidores de corrente, o monitoramento não pode ser realizado simultaneamente, sendo cada transformador monitorado por uma semana. Após o somatório dos dois transformadores, pôde-se descartar a parcela referente ao consumo de ar condicionado. O resultado é um regime de uso praticamente constante durante a ocupação diurna, sendo minimizado durante o período noturno.

Para realizar o cálculo das densidades de cargas (iluminação, equipamentos e computadores), foi realizado um extenso levantamento de campo a fim de discriminar a potência de cada item. Os valores das densidades de iluminação, equipamentos e computadores foram, respectivamente, de 17 W/m², 8 W/m² e 5 W/m², considerados válidos já na primeira simulação-teste.

Apesar da contribuição para o trabalho do qual este artigo faz parte, convém ressaltar que os procedimentos metodológicos aqui apresentados buscaram se adequar às diversas adversidades encontradas. Os dados resultantes deste trabalho serão utilizados em simulações hipotéticas que visam representar edificações de ocupação similar à da Reitoria. Considerando essa abordagem, os resultados conferem aos modelos maior relação com a ocupação real que se deseja expressar.

Todavia, vale salientar que os procedimentos aqui adotados poderiam gerar imprecisões decisivas nos resultados das simulações caso o objetivo fosse a modelagem do edifício da Reitoria da UFRN. Dessa forma, é igualmente inadequada a aplicação desses procedimentos em propostas de retrofits ou simulações de edificações reais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRAWLEY, D. B.;L. K. LAWRIE, *et al.* EnergyPlus: **Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program**. Energy & Buildings Journal, v.33, n.4, April 2001, p.319-331. 2001.
- DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. DesignBuilder 2000-2005.
- PEDRINI, A. **Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulações térmica e energética de edificações**. f. Dissertação Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 1997.
- PEDRINI, A.;R. LAMBERTS. **Methodology for Building Modelling and Calibration for Warm Climate**. Building Simulation, Rio de Janeiro, Brazil. 2001.
- PEDRINI, A.;F. S. WESTPHAL, *et al.* **A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates**. Building and Environment, v.37, n.8-9, AUG-SEP, p.903-912. 2002.
- WESTPHAL, F. *et al.* **Proposta de Retrofit para o Sistema de Iluminação Artificial da UFSC**. ENTAC - Foz do Iguaçu, Paraná. 2002.