

UTILIZAÇÃO DO NÚMERO DE GRAUS-DIA NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

Homero J. M. de Carvalho (1), Francisco A. G. da Silva (2)

(1) Mestre em Arquitetura, Prof. do CEFET-RN, - homerojmc@uol.com.br

(2) Doutor em Arquitetura e Urbanismo, Prof. do D A da UFPB - ffagos@terra.com.br

RESUMO

Utilizando o número de graus-dia (GD), este trabalho avalia o desempenho térmico de quatro apartamentos constantes de um edifício habitacional localizado na cidade de João Pessoa – PB (latitude 7°08'S – longitude 34°53'), com base em séries de dados de temperatura e umidade medidas interna e externamente a eles, em um intervalo de sessenta dias, trinta no inverno e trinta no verão, e seus resultados, além de demonstrarem falhas de desempenho térmico do referido edifício, indicam a possibilidade de se utilizar o GD na simulação de desempenho termo-energético de edifícios ainda na fase de projeto, tomando como referência o ano climático de referência (TRY).

ABSTRACT

By using the degree-day number (DD) and by taking into account series of data of temperature and humidity measured inside and outside the building, this work evaluates the thermal performance of four apartments in a building located in the city of João Pessoa - PB, in an interval of sixty days, thirty in the winter and thirty in the summer, and its results not only demonstrate defects of thermal performance of the referred building, but also indicate the possibility of using the DD in the simulation of thermo-energetic performance of buildings still in the project phase, taking the Test Reference Year (TRY) as reference.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho, os graus-dia referentes à cidade de João Pessoa (CARVALHO, 2001), foram calculados considerando duas séries de dados distintas: a primeira constituída pelas temperaturas horárias diárias referentes a uma série de dez anos (1985 a 1994), representando portanto 3.650 dias e a segunda relativa ao Ano Climático de Referência (TRY)¹, que CARVALHO (1992) definiu como sendo o ano de 1992 e constatou a viabilidade de se considerar representativos os graus-dia calculados a partir do TRY.

A quantidade de energia requerida para aquecimento ou resfriamento de um determinado ambiente, para torná-lo habitável, pode ser calculada através da quantidade de graus-dia durante o ano. Assim, para uma determinada faixa de conforto contida entre uma temperatura mínima e outra máxima, é possível verificar, em função das temperaturas horárias de um determinado lugar, a quantidade de calor a ser dissipado (ou administrado) diariamente ao longo do ano, para que o ambiente se torne confortável. Graus-dia é, então, a média do somatório das diferenças de temperatura de bulbo seco, quando esta se encontra abaixo (ou acima) de uma temperatura de base (T_b). (SZOKOLAY, *apud* GOULART, 1993). Desta forma, será considerado grau-dia de aquecimento a média do somatório das diferenças entre a temperatura mínima de conforto ($T_{b_{min}}$) e as temperaturas de bulbo seco horárias

¹ O ano climático de referência (TRY) é um parâmetro climático representativo de um período mínimo de dez anos consecutivos. Possui os valores horários das variáveis climáticas e considera todas as mudanças climáticas ocorridas durante o ano, proporcionando a avaliação do processo dinâmico da relação entre o edifício e o clima e o estabelecimento de estratégias bioclimáticas para cada período do ano (CARVALHO, 2001).

abaixo dessa (T_j). Ao contrário, quando a média do somatório for das diferenças entre a temperatura máxima de conforto ($T_{b\text{máx}}$) e as temperaturas de bulbo seco horárias (T_j) que estiverem acima, o gradua será considerado de resfriamento.

Considerou-se para o cálculo do número de graus-dia a faixa de conforto estabelecida por ARAÚJO (1996), 25,1°C (mínimo) e 28,1 (máximo) que foram utilizados, respectivamente para calcular os graus-dia de aquecimento e de resfriamento. Esses valores foram diminuídos em 3°C, estimados para o calor gerado por equipamentos, pela iluminação artificial e pelo metabolismo humano.

2. METODOLOGIA

Em campo, fizeram-se observações simultâneas e contínuas de temperatura e de umidade relativa do ar através de termohigrógrafos instalados nos quatro apartamentos do terceiro pavimento de um edifício e um em seu exterior, durante os períodos de 13/03 a 13/04 (verão) e 09/07 a 09/08 (inverno) de 2001.

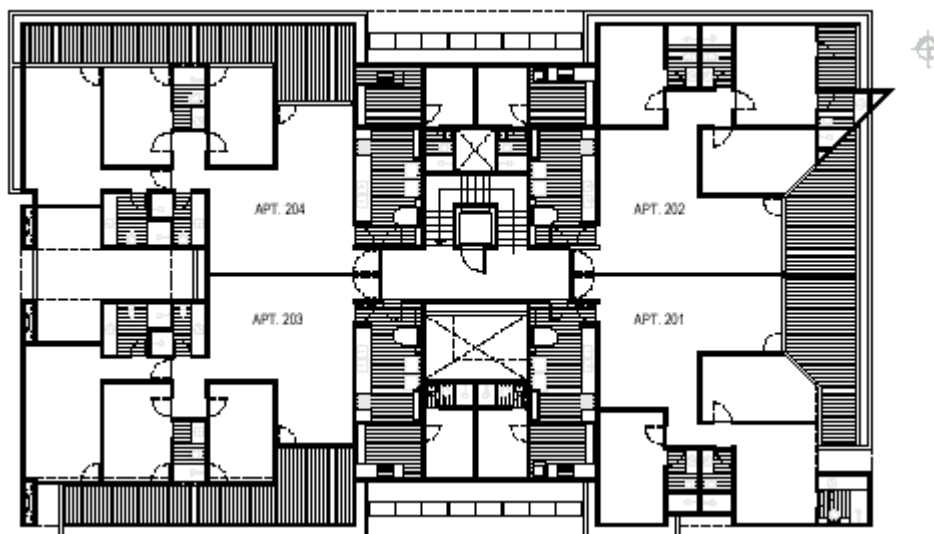


Figura 1: Planta baixado pavimento tipo do edifício estudado

De posse das séries de dados, estas foram tratadas estatisticamente utilizando-se do *software* Excel, da Microsoft, a partir do que avaliaram-se o comportamento térmico no interior dos apartamentos e no seu exterior, fazendo comparações entre as condições térmicas internas aos apartamentos e entre estes e o exterior do edifício, intentando identificar possíveis relações entre o seu desempenho térmico e as suas características construtivas e de uso.

Em seguida, foram feitos os cálculos de GD de resfriamento e GD de aquecimento para o período de medição, tomando como referência as temperaturas horárias medidas no interior dos apartamentos e no exterior do edifício.

3. RESULTADOS

3.1 Análise do Comportamento Térmico do Edifício

No verão, na maior parte do tempo a temperatura no interior e no exterior do edifício ficou acima do valor máximo de conforto, demonstrando o baixo desempenho do edifício em relação à absorção de calor (GRAF. 1). Percebeu-se que apenas o apartamento 203 manteve-se por algum tempo dentro da zona de conforto considerada.

Em termos de temperatura média diária, no verão, a diferença entre os apartamentos chegou a no máximo 2,8°C, observada entre os apartamentos 202 (Nordeste) e 203 (Sudoeste), sendo o 202 o mais quente (GRAF. 1). No apartamento 202 foram medidos os maiores valores de temperatura média diária no verão, atingindo 31,9°C nos dias 09 e 21 de março. O menor valor de temperatura média diária foi verificado no apartamento 203, 27,8°C em 12 de abril. Os valores de temperatura média mais registrados no mês de verão foram 29,6°C nos apartamentos 201 e 203, 31,5°C no 202 e 30,4 no 204, demonstrando que, em termos de temperatura média diária, o apartamento 202 conservou-se mais

aquecido do que o apartamento 204, aproximadamente 1°C e, em relação aos apartamentos 201 e 203, quase 2°C.

Esses resultados podem ser reforçados pela análise da amplitude térmica diária, verificada em cada apartamento. No apartamento 203 se verificou a maior amplitude (3°C), enquanto que, em alguns dias, nos apartamentos 201 e 202, a temperatura permaneceu constante. Em termos gerais, os apartamentos 201, 203 e 204 apresentaram resultados semelhantes, verificando-se que a amplitude diária de maior ocorrência nesses apartamentos foi 1°C, enquanto que, no apartamento 202, no maior número de dias observados, os valores de temperatura foram constantes.

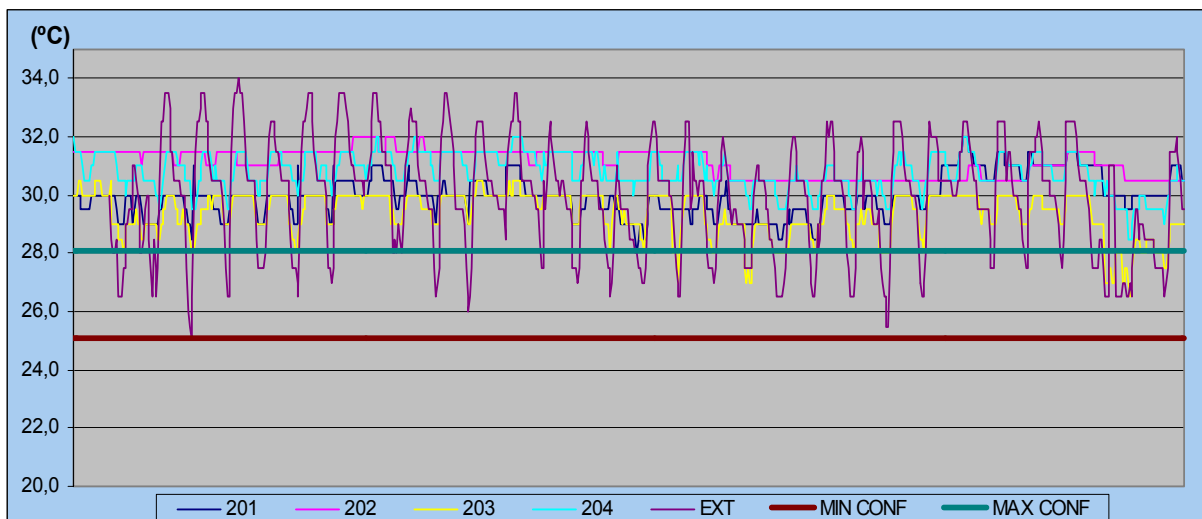


GRÁFICO 1: Temperatura no período de verão

Os apartamentos 202 e 204 tiveram a menor variação térmica, observada pelos valores do desvio padrão (0,5°C e 0,6°C) e pelo coeficiente de variação (1,53% e 1,98%) calculados.

As temperaturas média e máxima medidas no exterior do edifício também permaneceram acima dos 28°C recomendados. Apenas a temperatura mínima manteve-se dentro do limite na maioria dos dias observados.

No inverno, a temperatura interna manteve-se, na maior parte desse período, dentro dos limites de conforto. Verificou-se que os apartamentos 204 e 202 permaneceram com a temperatura mais elevada, superando o limite de conforto nos horários mais quentes em alguns dias. Os apartamentos 201 e 203 mantiveram-se dentro da zona de conforto, com o apartamento 203 tendo estado, em alguns dias, abaixo da zona de conforto nos horários de temperatura mais baixa (GRAF. 2).

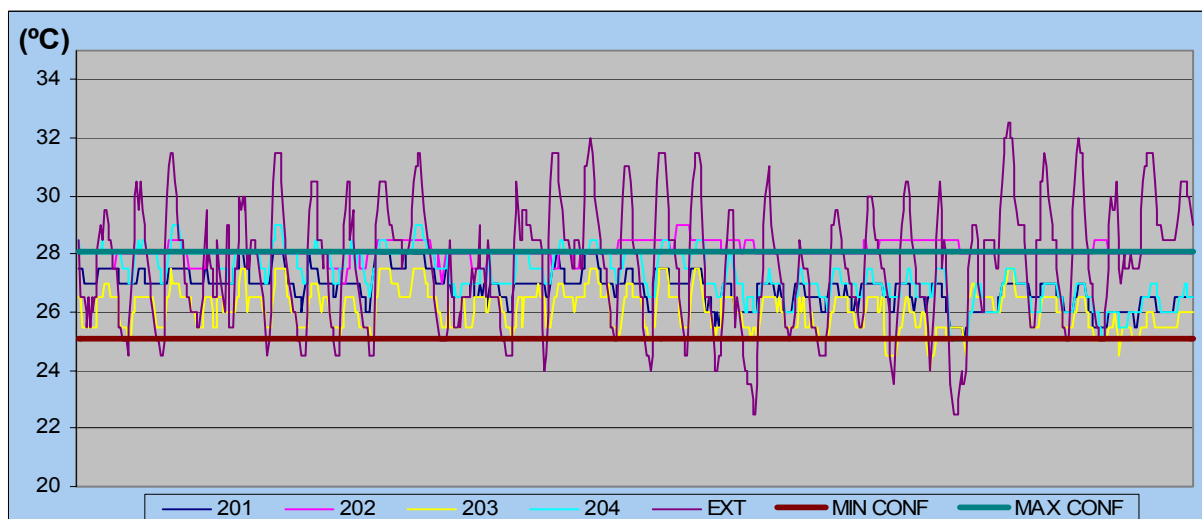


GRÁFICO 2: Temperatura no período de inverno

No período de inverno, a maior diferença de temperatura média diária atingiu 3,3°C entre os apartamentos 202 (Nordeste) e 203 (Sudoeste), permanecendo o 202, à semelhança do que aconteceu no verão, mais quente do que o 203 (GRAF. 2). Ressalte-se que, nesse período, o apartamento 202 apresentou os maiores valores de temperatura média diária, atingindo 28,7°C, em 26 de julho, 3,2°C menor do que a maior média verificada no verão. O menor valor de temperatura média diária foi verificado no 203, 25,2°C em 01 de agosto, 2,5°C abaixo do menor valor verificado no verão.

Os valores de temperatura média diária mais freqüentes no mês de inverno foram: 26,6°C no apartamento 201; 28°C nos 202 e 204 e 26°C no 203, indicando uma redução de até 4,1°C em relação a março (mês de verão). Observou-se também que houve uma maior variação das temperaturas médias diárias no período de inverno, provocada, provavelmente, pela maior incidência de chuvas neste período. Assim, nos dias de maiores precipitações a temperatura média diária caiu significativamente, enquanto que nos dias de estiagem as temperaturas atingiram valores próximos dos verificados no verão.

As temperaturas mais freqüentes no período de inverno foram: 27°C no apartamento 201; 28°C nos 202 e 204 e 26,5°C no 203. Constata-se, com isso, que o apartamento 203 manteve-se, em todas as condições de temperatura, menos quente do que os demais, ao passo que os apartamentos 202 e 204 permaneceram mais aquecidos.

Em termos de amplitude térmica, o apartamento 203 apresentou a maior valor, 2,5°C, enquanto que os apartamentos 202 e 204, em alguns dias, permaneceram com a temperatura constante, resultando numa amplitude nula. Em termos gerais, os apartamentos 201 e 204 apresentaram resultados semelhantes, quando se verificou que a amplitude que mais se registrou nesses apartamentos correspondia a 1°C, enquanto que no apartamento 202 a 0°C e no 203, 1,5°C.

No apartamento 202 aconteceu a menor variação térmica, observada pelos valores do desvio padrão (0,3°C) e pelo coeficiente de variação (1,08%) calculados.

3.2 Análise Comparativa entre o Interior e o Exterior do Edifício

No verão, verificou-se que a temperatura externa mantém-se mais alta do que a temperatura interna do edifício durante o dia, sendo o intervalo de 10h às 18h o mais longo observado. A temperatura externa passou a ser mais baixa do que a interna após as 24h, mantendo-se dessa forma até, no máximo, 10h nos dias com maior umidade relativa do ar. No restante do tempo, a temperatura externa ficou próxima à interna, principalmente em relação aos valores medidos no apartamento 204.

A temperatura externa teve uma variação maior do que a interna, visto que o desvio padrão calculado atingiu 1,9°C e o coeficiente de variação, 6,39%. Enquanto a maior amplitude verificada no interior dos apartamentos foi de 3°C, no exterior, verificou-se uma amplitude de até 8,5°C no mesmo dia. No restante dos dias, a amplitude que mais se registrou foi 3,5°C no exterior e 1°C nos apartamentos. O apartamento 204 permaneceu com as temperaturas máximas diárias mais próximas das exteriores, verificando-se que, na maior parte dos dias, a interna manteve-se 1°C abaixo da externa. Em relação à temperatura mínima diária, o apartamento 203 ficou mais próximo dos valores medidos no exterior, 1,5°C acima. E quanto à temperatura média diária, os apartamentos 201, 202 e 203 apresentaram resultados semelhantes. Nos apartamentos 201 e 203, a temperatura média permaneceu 0,4°C e 0,5°C, respectivamente, abaixo da temperatura média exterior na maioria dos dias. No apartamento 202, essa diferença atingiu 0,4°C.

Já no inverno, a temperatura externa permaneceu mais alta do que a temperatura interna do edifício durante, normalmente, o período da tarde, permanecendo abaixo desta durante a madrugada até, no máximo, 8 horas da manhã em alguns dias.

A temperatura média no exterior teve uma grande variação no período de inverno, estando ora entre os valores medidos no interior dos apartamentos, ora acima (GRAF. 2). Essa variação se deve ao aumento das precipitações de chuva nos meses de julho e agosto na cidade de João Pessoa. Os dias em que as temperaturas médias estiveram mais baixas correspondem, portanto, aos dias de maior índice pluviométrico.

As temperaturas médias exteriores mais baixas permaneceram, na maioria dos dias medidos, superior à temperatura média dos apartamentos 201 e 203 e inferior à do apartamento 202 (GRAF. 2). Quanto ao

apartamento 204, houve uma alternância em que a temperatura média externa manteve-se, ora mais alta, ora mais baixa do que a do apartamento 204.

No inverno, a temperatura exterior, apesar de ter tido uma variação menor do que no verão, ainda foi maior do que no interior do edifício, visto que o desvio padrão calculado chegou a 0,9°C e o coeficiente de variação atingiu 3,16%. A maior amplitude verificada no interior dos apartamentos foi de 2,5°C. No exterior, verificou-se uma amplitude de até 7,5°C no mesmo dia. Esses valores são 0,5°C menores do que os registrados no interior do edifício no período de verão e 1°C menor do que os medidos no exterior, no inverno. No restante dos dias, 6°C foi a amplitude mais registrada no exterior do edifício, enquanto que nos apartamentos 201 e 204 se registrou 1°C e no 203, 1,5°C. No apartamento 202, a variação nula da temperatura foi a ocorrência que mais se verificou.

3.3 Cálculo do número de graus-dia

Os resultados descritos anteriormente podem ainda ser analisados a partir do cálculo do número de graus-dia (GD). No verão, constatou-se que o GD de resfriamento no interior dos apartamentos 201 foi exatamente igual ao calculado para o exterior do edifício, enquanto que os valores calculados para os apartamentos 202 e 204 estiveram acima. Apenas o número de graus-dia do apartamento 203 ficou abaixo (TAB. 1). Neste período o GD de aquecimento foi nulo.

Esses valores representam a necessidade de consumo de energia para resfriamento, indicando em quantos dias e em quantas horas será necessário interferir no edifício para que o mesmo permaneça com temperaturas confortáveis. Quanto a esses aspectos, os cálculos indicaram comportamentos semelhantes: todos os apartamentos necessitaram de resfriamento em todos os dias de verão observados e por uma mesma quantidade de horas. No entanto, a quantidade de energia utilizada para resfriar ou aquecer o ar no interior do edifício será proporcional ao número de GD.

No inverno, o número de GD de resfriamento foi bem menor do que no verão, destacando-se o apartamento 203 com melhor desempenho do que os demais. Neste período, apenas o apartamento 202 permaneceu com o número de GD de resfriamento acima do GD do exterior, confirmando o baixo desempenho desse apartamento.

TABELA 1: Número de graus-dia de resfriamento e de aquecimento

ESTAÇÃO	RESFRIAMENTO						AQUECIMENTO						
	201	202	203	204	EXT	TRY	201	202	203	204	EXT	TRY	
VERÃO	GD	151	186	131	176	151	53,6	0	0	0	0	0	0
	ND	31	31	31	31	31	31	0	0	0	0	0	0
	NH	744	744	744	744	743	498	0	0	0	0	0	0
INVERNO	GD	53,3	92,9	31,4	66,5	83,4	18,2	0	0	0	0	0	0
	ND	31	31	31	31	31	30	0	0	0	0	0	0
	NH	743	744	683	729	637	251	0	0	0	0	0	0

GD – Número de graus-dia de aquecimento ou de resfriamento;

ND - Número de dias de aquecimento ou de resfriamento

NH – Número de horas de aquecimento ou de resfriamento

TRY – Ano Climático de Referência

Ainda observando a TAB. 1, verifica-se que a quantidade de dias em que se fez necessário resfriar os apartamentos durante o inverno foi igual ao verão, portanto, 31 dias. Entretanto, houve uma redução na quantidade de horas, principalmente nos apartamentos 203 e 204 que, respectivamente, necessitaram de resfriamento em 683 e 729 horas. Para o apartamento 201 houve a redução de apenas uma hora, enquanto que o apartamento 202 obteve o mesmo desempenho do verão, com 744 horas.

Apesar da redução dos valores de temperatura e conseqüentemente do número de graus-dia de resfriamento, no inverno também não houve necessidade de aquecimento dos edifícios.

Para comparar o número de GD do período medido no exterior do edifício com os calculados para o TRY (1992), considerou-se o número de graus-dia calculado com base nas temperaturas medidas no exterior do edifício (TAB. 1). Vale salientar que, para o TRY, os valores de referência foram obtidos do Aeroporto Castro Pinto. Isso significa que os dados medidos no exterior do edifício, ao contrário

dos do aeroporto, receberam influência da ocupação do entrono (pavimentação e construções), proporcionando a elevação da temperatura do ar.

3.4. Características físicas e de uso que influenciaram nos resultados

Considerando que os materiais empregados são os mesmos na construção dos quatro apartamentos, as variações detectadas no comportamento térmico desses apartamentos podem ser atribuídas à orientação geográfica diferenciada das fachadas, que determinam a orientação das aberturas em relação aos ventos dominantes, a incidência maior ou menor da radiação solar direta nas vedações e aberturas e ao seu regime de utilização desses.

O apartamento 203 teve o melhor desempenho provavelmente devido às suas aberturas estarem direcionadas para Sul, proporcionando uma melhor captação dos ventos dominantes e uma menor incidência da radiação solar direta, portanto, recebendo uma menor carga térmica e tendo uma maior renovação do ar.

Os maiores valores de temperatura medidos no apartamento 202 podem ser atribuídos as suas condições de uso e à orientação das suas aberturas para Norte, de onde ocorrem menores incidências de vento. Observou-se que este apartamento permaneceu a maior parte do dia com as janelas fechadas, impedindo a renovação do ar e a conseqüente troca de calor com o exterior, hipótese reforçada pelo fato de que em nenhum dia, no período de verão, a sua temperatura média interna atingiu valores abaixo da média exterior.

4. USO DOS GRAUS-DIA NA NA ANÁLISE DE PROJETOS: UMA PROPOSTA

Conhecendo-se o número de graus-dia de aquecimento e/ou de resfriamento calculados para uma determinada localidade e as características de uso final da energia consumida pelas edificações, é possível estabelecer índices de desempenho térmico e de consumo de energia para as edificações a serem construídas naquele local, de acordo com suas características de uso.

O melhor desempenho do apartamento 203, constatado através do comportamento térmico e do GD, demonstra as possibilidades de se reduzir as adversidades climáticas, buscando-se uma melhor interação entre o edifício (orientação, aberturas, sombreamento, cobertura, entre outros) e os elementos de clima (vento e insolação), obtendo-se, assim, uma melhor eficiência energética.

A proposta aqui apresentada é de que estabeleça um percentual possível de relação entre o GD calculado para o interior do edifício com o calculado para o seu exterior. Ou seja, um limite de desempenho que o edifício deveria atingir passivamente. No caso do apartamento 203 do edifício estudado, o GD foi 13,2% menor do que no exterior durante o verão e 62,3% no inverno, podendo ser ainda menor, talvez, caso fossem adotadas outras soluções arquitetônicas mais eficientes.

Para definir esse percentual, pode-se tomar como referência os valores do TRY, calculados a partir de dados coletados na estação meteorológica da cidade em questão. Para isso, é necessário fazer medições de temperatura no local de construção do edifício durante um mês de verão e outro de inverno e comparar os valores obtidos com os dos meses correspondentes do TRY.

O percentual de diferença entre os dados medidos no local e os do TRY para os dois períodos deve ser identificado e projetado para os demais meses do ano. No caso do edifício estudado, o GD no exterior do edifício foi superior ao do TRY em 64,5% no verão e 78,2% no inverno. Projetando essas diferenças para os demais meses de verão e de inverno ao longo do ano, ter-se-á o total de graus-dia para os dois períodos no exterior do edifício(TAB. 2).

TABELA 2: Número de graus-dia de resfriamento

ESTAÇÃO	GD DE RESFRIAMENTO					
	201	202	203	204	EXT	TRY
VERÃO	898,0	1077,6	808,2	1077,6	898,0	320,7
INVERNO	462,6	848,1	308,4	616,8	771,0	167,6
TOTAL	1360,6	1925,7	1116,6	1694,4	1669,0	487,3

Por fim, tomando os percentuais de diferença entre os apartamentos e o exterior a partir dos dados da TAB. 1, poder-se-á calcular o número de graus-dia para todos os meses também para os apartamentos, a partir do GD do exterior calculados na TAB. 2.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados aqui apresentados ainda não são definitivos. Uma maior certeza sobre a validade do uso do uso dessa metodologia seria possível caso as medidas de campo tivessem sido feitas durante um ano inteiro, a fim de confirmar (ou não) a possibilidade de distribuir para os demais meses, as diferenças de GD do interior dos apartamentos e do exterior do edifício, medidas durante apenas um mês de verão e outro de inverno. Novos estudos nesse sentido devem ser feitos.

Apesar disso e, obviamente, devido a enorme variabilidade dos valores medidos, estes resultados não serão precisos, mas possibilitarão uma grande aproximação dos valores reais e poderão representar reduções significativas no consumo de energia, previstas ainda na fase de projeto através de simulações computacionais. Por exemplo, caso os GDs dos apartamentos 202 e 204 fossem pelo menos iguais aos calculados para o exterior do edifício, ter-se-ia uma economia anual significativa.

A repetição desse estudo para outros edifícios e a de simulações computacionais de desempenho térmico neste e em outros edifícios, devem ser feitos afim de auxiliar na definição de limites de graus-dias a serem respeitados pelos edifícios, podendo, inclusive, constar de legislação específica no âmbito da conservação energética.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, V. M^a. D. de. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. São Paulo: FAUUSP, 1996. (Tese de Doutorado em Arquitetura).

CARVALHO, Homero J. M. **Parâmetros climatológicos para o estudo do balanço termoenergético de edificações da cidade de João Pessoa – PB**. Natal: UFRN, 2001. (Dissertação, Mestrado em Arquitetura).

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Florianópolis: UFSC, 1993. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Civil).