

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO PROJETO – CENTRO DE INFORMAÇÃO CRESESB/ELETROBRÁS: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DO ELEMENTO COBERTURA NATURADA.

Louise Land Bittencourt Lomardo (2); Vitório Paulo da Silva Filho (1).

(1) Arquiteto, Mestre em Arquitetura e Urbanismo pelo PPGARQURB-UFF.

vitorio_paulo@hotmail.com. (71) 9287 9878.

(2) D. Sc. Professora Adjunta da Escola de Arquitetura e Urbanismo da UFF. lovin@cruiser.com.br.

Universidade Federal Fluminense, Laboratório de Conforto Ambiental e Conservação de Energia.

Universidade Federal Fluminense, Laboratório de Conforto Ambiental e Conservação de Energia.

R. Passo da Pátria, 136, São Domingos, Niterói. 24.210-240. Tel.: (21) 2629-5743 / 2629-5745.

RESUMO

Este trabalho discorre sobre as questões pertinentes à avaliação do desempenho termoenergético do elemento cobertura naturada especificado no projeto do Centro de Informações da CRESESB/ELETROBRAS, a partir de resultados obtidos de simulações paramétricas realizadas com o software VisualDOE 4.1. Coberturas alternativas à especificada no projeto foram testadas, de modo que dados comparativos entre a cobertura naturada (Caso Base) - e o mesmo projeto com variações diversas em relação a este elemento arquitetônico (Alternativas) foram obtidos. Desta forma, avaliou-se a diretriz projetual original do ponto de vista do desempenho termoenergético, sempre com a garantia de fornecer conforto higrotérmico aos usuários, com o mínimo de consumo de energia elétrica. A cobertura naturada apresentou o melhor desempenho termoenergético frente às demais opções de cobertas simuladas. No entanto, como a presente pesquisa trata de um estudo de caso particular e face ao estado da arte, não é possível generalizar os resultados obtidos.

Palavras-chave: Simulação Computacional. Desempenho Termoenergético. Cobertura Naturada.

ABSTRACT

This research aim the assessment of the thermal-energy performance of the green-roof element, specified in the architectural project designed to the Information Center of CRESESB/ELETROBRAS, throughout parametric computer simulation with the use of an energy performance tool: the VisualDOE 4.1 software. Four different alternatives from the original rooftop element of the project (green rooftop – base case) were simulated, and after a comparison of the simulation results, was detected the best among all alternatives - and how much better it was - considering the thermal-energy performance that guarantee thermal comfort to its users with minor electric energy consumption. The original roof (green rooftop – base case), showed the best thermal-energy performance in a comparison with the others simulated rooftops (alternatives). Although, however this work is a particular case-study and considering the state of the art, it's not possible to generalize the results.

Keywords: Computer Simulations. Thermal-energy efficiency. Green-roofs.

1. INTRODUÇÃO.

Se durante séculos e séculos o paradigma da arquitetura se apoiou na tríade vitruviana – *venustas, firmitas, utilitas* [estética, estrutura e funcionalidade], nos dias atuais novos conceitos e objetivos são agregados: o da eficiência energética [LAMBERTS et. al. 1997] e o da sustentabilidade, que se traduz em “conforto ambiental, conservação de energia e a utilização apropriada dos materiais e componentes das estruturas construídas, verificando seus efeitos através da análise do desempenho ambiental. Os espaços assim projetados são adequados ao lugar e concebidos segundo preceitos bioclimáticos. (Disponível em: <http://www.unb.br/fau/pesquisa/sustentabilidade>. Acesso em: 22.02.2006.).

O clima Tropical Quente-Úmido demonstra que, em edificações comerciais de poucos pavimentos e dotadas de grandes percentuais de áreas de cobertura em relação às áreas dos elementos da lateral da envoltória, [como é o caso da edificação escolhida para este estudo de caso específico], e considerando-se a inexistência de edificações limítrofes que projetem sombras sobre o objeto arquitetônico alvo de estudo, a cobertura é justamente o principal elemento construtivo responsável pela formação de carga térmica transmitida aos espaços interiores, uma vez que recebe a maior quantidade de radiação solar direta.

Devido às peculiaridades climáticas da cidade do Rio de Janeiro, localizada em clima Tropical Quente-Úmido e em acordo com as características específicas do projeto da edificação a ser simulada, justifica-se assim a escolha do elemento arquitetônico cobertura, dentre outros elementos construtivos também relevantes da envoltória deste projeto de edificação, para fins de estudos de simulação paramétrica de desempenho termoenergético.

Assim, à luz do séc. XXI, momento histórico em que a busca por soluções construtivas pautadas nos preceitos da sustentabilidade, do bioclimatismo e da eficiência energética torna-se paradigma *sine-qua-non*, diversas pesquisas sobre a cobertura naturada, dentro desta abordagem, reconhecem as suas qualidades e benefícios, entre elas o seu bom desempenho termoenergético, a exemplo de EUMORFOPOULOU e ARAVANTINOS (1998), KOSAREO, L. e RIES, R. (2007) e MACHADO (2002).

No entanto, a carência em âmbito brasileiro de pesquisas que quantificassem e qualificassem o desempenho termoenergético da cobertura naturada, v.g. trabalhos realizados no cenário internacional como o de WONG et al. (2003), através de dados precisos e comparativos com outras opções de cobertas comumente adotadas na prática da construção civil brasileira, obtidos a partir de simulações computacionais paramétricas, justificam o presente trabalho. As demais cobertas definidas como alternativas, foram escolhidas por pertencerem ao tradicional repertório construtivo brasileiro [MONTENEGRO, G. A. 1984] e por serem freqüentemente empregadas na construção civil de edificações com o mesmo perfil do prédio deste estudo de caso.

Em meio à grande quantidade de programas existentes para fins de análise de desempenho termoenergético de edificações [DOE, 2007], a adoção do VisualDOE justifica-se por algumas razões. Dentre as principais, destaca-se a interface gráfica amigável do software, compatível com o sistema operacional Windows [PEDRINI e SZOKOLAY, 2005]; o fato do programa ser validado e adotado em mais de 38 países por profissionais de arquitetura, engenharia, consultores, pesquisadores, entre outros profissionais da área; os bons resultados obtidos com o uso do software por pesquisadores brasileiros em trabalhos envolvendo análise de desempenho termoenergético de edificações, v.g. LOMARDO (2000).

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é diagnosticar quantitativamente e qualitativamente o desempenho termoenergético do elemento construtivo cobertura naturada especificado no projeto da edificação. Para tanto, realizaram-se simulações paramétricas com o software VisualDOE, interface gráfica do DOE 2.1E, considerando-se a cobertura especificada no projeto original – cobertura Naturada [adotada como Caso-Base], e o mesmo projeto com quatro outros tipos de coberturas [Alternativas].

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em duas etapas principais:

1. Definição de um modelo computacional representativo para a edificação.
2. Simulação do Caso-Base
3. Simulação das Alternativas.

3.1. Definição de um modelo computacional para a edificação.

3.1.1. O Projeto:

O projeto do Centro de Informações da CRESESB/ELETRONBRAS será construído na ilha do fundão, cidade universitária, em um terreno que suporta outros edifícios do CEPTEL. De autoria da então estudante da graduação em Arquitetura e Urbanismo da EAU-UFF Estefânia Melo, orientada pela Prof. D.Sc Louise Land Bittencourt Lomardo, foi concebido segundo diretrizes de desenho bioclimático, com uso de repertório de técnicas construtivas e estratégias pertinentes, em vista do conforto higrotérmico dos usuários e do alto grau de performance termo-energética.

O local escolhido para a implantação da edificação preserva a vegetação existente, valorizando uma árvore frondosa. A implantação resguarda ainda o edifício das sombras provocadas pelas demais edificações do conjunto. O Projeto consiste em 3 blocos distintos, com área útil total de 310,30m² e área total construída de 488.93m², que contemplam os ambientes, a saber:

- **Bloco 01:** Lobby de entrada: recepção/exposição (104.13m²); Copa (7.85m²); Banheiros (6.14m²).
- **Bloco 02:** Sala de Aula (76.47m²).
- **Bloco 03:** Escritórios (40.44m²); Sala de Estudos/Acervo (58.34m²); Depósitos (3.62m²); Sub-estação (3.07m²).
- **Outros:**
 - Circulação (10.24m²).
 - Áreas externas:
 - Rampa de acesso Bloco 1: fachada N (20.11m²).
 - Rampa de acesso Bloco 1: fachada S (38.68m²).
 - Rampa de acesso Bloco 2: fachada N (29.87m²).
 - Rampa de acesso Bloco 3: fachada W (5.84m²).

O projeto, dividido em 3 blocos distintos [figura 1] articula-se ao redor de um jardim: uma área de estar aconchegante e aprazível aos olhos que, em vista do sombreamento provocado pela árvore frondosa localizada no meio do canteiro central, provê conforto térmico aos seus usuários [figura 1]. O acesso ao conjunto é dado através do bloco 1: central em relação aos demais, dispõe-se longitudinalmente ao eixo norte-sul, e abre-se em direção ao sul [figuras 1,2 e 3].

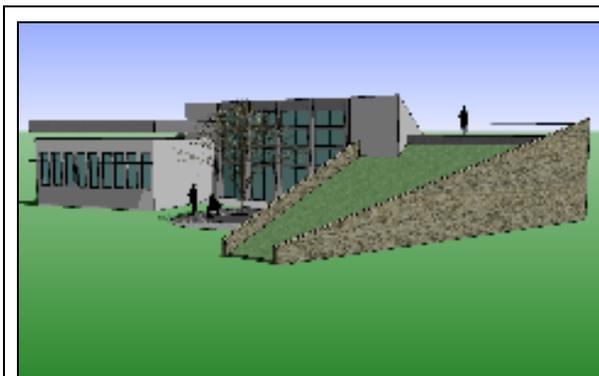


Figura 1. Fachada Principal (Sul) – Acesso à edificação.

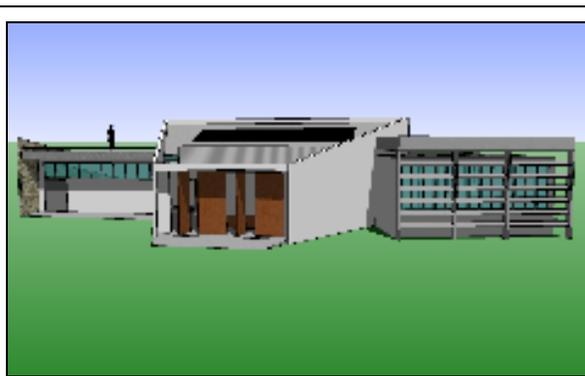


Figura 2. Fachada Posterior (Norte).

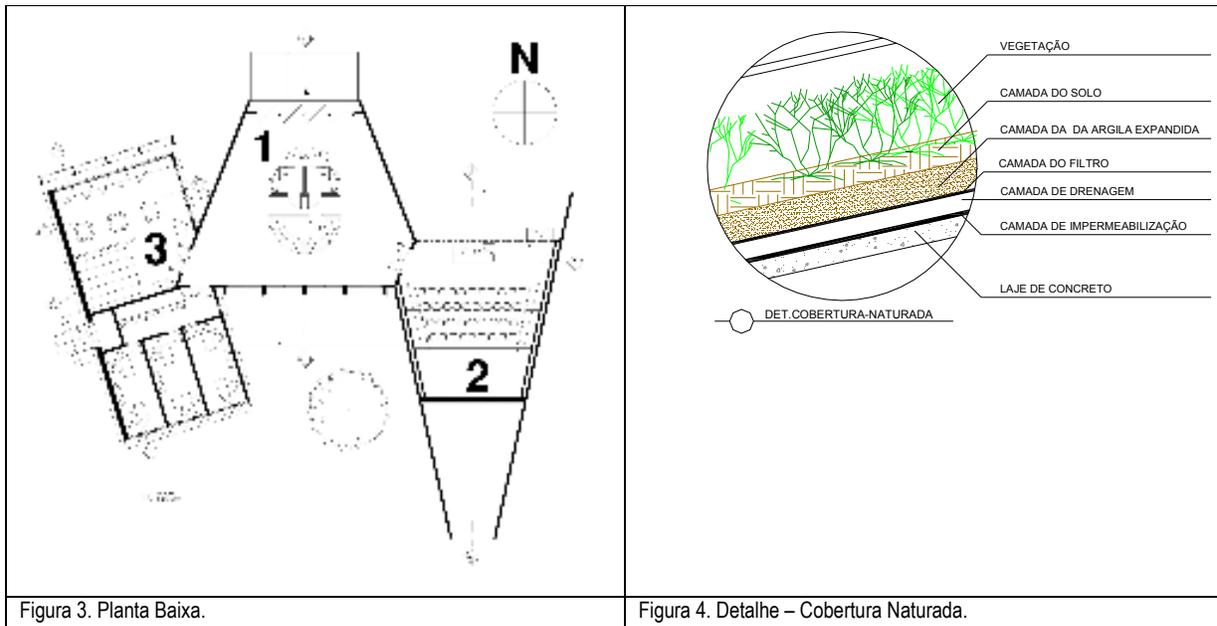


Figura 3. Planta Baixa.

Figura 4. Detalhe – Cobertura Naturada.

3.1.2. Situação de Referência:

A cidade do Rio de Janeiro, situada em torno das coordenadas de 22° 54' 10" de latitude Sul e 43° 12' 24" de longitude Oeste de Greenwich, no Trópico de Capricórnio, ao nível do mar, possui clima do tipo Tropical Quente-Úmido, classificado como Awa¹ por KÖEPPEN².

De acordo com LAMBERTS et. al. (1997), “*As temperaturas médias mensais são altas durante todo o ano. O desconforto por calor no Rio de Janeiro ocorre em aproximadamente 64% das horas do ano*”.

De acordo com os dados solarimétricos da cidade do Rio de Janeiro, “*durante todo o ano a cobertura é o elemento principal responsável pela absorção da carga térmica proveniente da radiação solar direta, cerca de 1,6 MWh/m².ano*” (Atlas Solarimétrico do Brasil, UFPE, 2000).

3.1.3. Aspectos relacionados à modelagem da edificação no VisualDOE:

O processo de modelagem para obtenção de um modelo computacional da edificação realizado no VisualDOE contempla a entrada de uma série de dados relevantes, tais como o Ano Climático de Referência [TRY]³; Taxa de Utilização da Energia Elétrica (*Utility Rates*) correspondente ao valor do kWh cobrado pela concessionária local; especificação das propriedades térmicas dos materiais empregados nos diversos elementos construtivos; definição de agendas horárias de uso e ocupação da edificação; especificação de sistemas utilizados, como ar-condicionado; definição de agenda de feriados; etc.

¹ Awa – Clima megatérmico (temperatura média do mês mais frio superior a 18°C) com chuvas de verão (mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60mm) e verões quentes (mês mais quente com média igual ou superior a 22°C).

² KÖEPPEN, Wladimir. Climatólogo russo, nascido em São Petersburgo, é considerado o precursor da ciência meteorológica moderna. Em 1900, consolidou estudos climáticos caracterizados por letras.

³ O clima horário utilizado [TRY] nos estudos de simulação paramétrica é o de 1995 do Rio de Janeiro, obtido a partir de dados medidos no aeroporto do Galeão e adquirido pela pesquisa do Projeto 6 Cidades junto ao Infraero. Estes dados foram trabalhados pela equipe do professor Lamberts, [LAMBERTS, R.] no Núcleo de Pesquisa em Construção Civil/LABEEE, e formatados para uso no VisualDOE. [LAMBERTS et. al. 2000].

O *modus-operandi* do VisualDOE sugere que a edificação seja sub-dividida em blocos, onde cada bloco deve contar com um determinado número de zonas, sendo que estas zonas devem ser configuradas considerando ambientes que tenham o mesmo padrão de uso, ocupação, etc. Obedecendo à lógica de trabalho do programa, o Caso Base foi realizado considerando-se 3 blocos distintos, de forma análoga ao projeto original: bloco 01 [bloco central, da recepção/galeria] / bloco 02 [bloco da sala de aulas] / bloco 03 [bloco da sala de estudos, circulação e escritórios].

O zoneamento do bloco 02 foi o mais simples de todos, uma vez que o bloco conta somente com o ambiente da sala de aulas. No bloco 01, o zoneamento considerou uma zona única com seus limites dados pelo perímetro da área de piso. Isto se justifica, uma vez que a pequena copa não tem paredes que a isolam em relação à galeria e os banheiros, por serem ambientes de uso muito esporádico, pouco influenciam nos gastos de E.E. por usos finais de iluminação artificial e ar-condicionado deste bloco. No bloco 03, os 3 escritórios, por serem ambientes com usos análogos, foram agrupados em uma única zona; a sala de estudos contemplou uma zona à parte neste bloco enquanto que a circulação/depósito outra zona à parte.

Em cada zona, foi especificado um sistema de ar-condicionado individual do tipo *Split*, conforme solicitações do cliente. Este tipo de sistema de ar-condicionado é reconhecido pelo DOE 2.1E como sendo do tipo RESYS [*Residential System*], e consta na sua lista de *defaults* para ser especificado pelo modelador. Em se tratando de sistemas de ar-condicionado, devido à tipificação do consumo horário por conta das inúmeras variáveis decorrentes da interação - arquitetura/sistema predial/uso - ser demasiadamente complexa, os dados de entrada utilizados para caracterização do uso do sistema foram: temperatura de *set point*, período de uso e COP ou EER [*Energy Efficient Ratio*].

A temperatura de *set point* adotada foi de 20° C para todas as zonas, salvo à exceção da Zona 04, para a qual foi customizada a temperatura de set point de 25°C. A temperatura de 20°C adotado para todas as demais zonas justifica-se, uma vez que esta temperatura, para a umidade relativa do ar entre 50 a 70%, está dentro da zona de conforto higrotérmico do *Diagrama Bioclimático de Givonni*. Quanto à zona 04, de circulação, para uma temperatura de set point de 20°C, o percentual de horas mensais em que a zona estava sob frio [*under cooled*] era muito grande. Assim, simulações foram realizadas, aumentando a temperatura de *set point* da agenda de *cooling* desta zona de 1°C em 1°C, até que, para a temperatura de *set point* de 25°C, a zona apresentou uma quantidade de horas sob frio desprezível em termos percentuais à quantidade de horas totais do mês. Os ERRs de cada um dos sistemas de ar-condicionados especificados para cada uma das zonas foram mantidos de acordo com os valores *defaults* do VisualDOE. A este respeito, é importante considerar que as eficiências *defaults* do DOE 2.1E para o condicionamento de ar são fontes americanas para *splits* vendidos nos EUA, sendo que tal fato se reflete em consumos mais baixos para os padrões brasileiros, uma vez que os *splits* aqui fabricados são menos eficientes. No mais, o dimensionamento da máquina ficou a cargo do programa. A eficiência *default* do programa, para o *split* empregado nas zonas é: COP = 2.857.

Cada zona teve suas respectivas potências de iluminação artificial e equipamentos calculadas em virtude dos equipamentos especificados para cada um dos ambientes e das respectivas potências de lâmpadas especificadas no projeto luminotécnico. Com relação aos equipamentos, foram consideradas as respectivas potências médias destes, obtidas a partir de pesquisas com ênfase em monitoramento de eletroeletrônicos realizadas por pesquisadores em âmbito brasileiro, v.g. GHISI et. al. (1997). Segundo o autor, para fins de estimativas mais precisas de usos finais de equipamentos em simulações de desempenho termoenergético de edificações, torna-se mais confiável a adoção de potências médias obtidas a partir de medições monitoradas *in-loco*, à especificação de potências nominais de equipamentos obtidas a partir de catálogos de fabricantes.

Uma dificuldade encontrada na modelagem geométrica e volumétrica do Caso Base e que teve de ser contornada com muito bom senso foi a modelagem das coberturas. O VisualDOE 4.1 não modela telhados inclinados, assim como ambientes com pisos em diversos desníveis. Desta forma, simplificações na geometria do prédio tiveram de ser realizadas, de modo que a modelagem do Caso Base se tornasse possível: a cobertura do bloco 01, assim como a cobertura e o piso do bloco 02, foram planificados de modo que a modelagem geométrica e volumétrica se tornasse exequível dentro das limitações impostas pelo programa. A partir do projeto original da edificação, os volumes internos de cada um dos blocos foram calculados, sendo que foram estimados pés-direitos médios equivalentes para cada um destes blocos mantendo-se o mesmo volume interno.

Quanto aos materiais e elementos construtivos especificados, apesar da grande quantidade disponível destes na biblioteca do VisualDOE, a maioria utilizada para a composição do modelo deste estudo de caso teve de ser criada. Isto se deve ao fato dos elementos construtivos e materiais da biblioteca do programa estarem vinculados a técnicas e sistemas construtivos diferentes da realidade brasileira. As propriedades térmicas da maior parte dos materiais representados, tais como condutividade térmica, densidade, calor específico, absorvância para radiação solar e resistência térmica, foram obtidas na norma NBR 15.220 PARTE II (ABNT, 2005a).

O processo de modelagem da cobertura naturada requereu inevitavelmente algumas simplificações. Isto se deve ao fato de o VisualDOE operar considerando estados constantes de transferência de calor entre os ambientes [exterior e interior], utilizando assim valores de resistências e transmitâncias térmicas constantes, típicas de materiais e sistemas inertes. Desta forma, foram usados valores constantes de resistências térmicas [WONG (ibid)] para as camadas representativas do sistema biológico vivo: camada de solo e camada vegetada (grama), de forma a tornar possível as suas representações em respeito às limitações impostas pelo programa [representando-os como materiais inertes equivalentes], porém sem trazer prejuízos à margem de confiabilidade nos resultados almejados.

É sabido que determinados fenômenos de cunho físico-biológico-químico ocorrem na cobertura naturada devido à parte de sua composição ser formada por um sistema biológico vivo, tal como a transpiração, a evotranspiração e a fotossíntese. Embora estes fenômenos ocorram em sua parte vegetada, eles não são desprezados e, ainda que não seja possível determinar precisamente as contribuições individuais de cada um destes fenômenos para com a resistência térmica final da camada vegetada [em virtude da complexidade que envolve a análise deste sistema biológico vivo], todos eles contribuem juntos para com o valor da resistência térmica resultante estimada.

A modelagem da cobertura naturada considerou ainda por hipótese, um valor constante de conteúdo de umidade para a camada do solo: assim, considerou-se por hipótese que a cobertura naturada será permanentemente irrigada, de modo que a camada de solo mantenha teor de umidade sempre constante. O solo terá umidade mantida constante através da irrigação, que será acionada por meio de sensores localizados no solo. Ao se manter constante a umidade, desconsidera-se a evaporação e o transporte combinado de calor e de umidade. A consideração da remoção de calor através da evaporação poderia diminuir a carga térmica do espaço sob a cobertura e melhorar o desempenho térmico e energético da cobertura naturada, mas a modelagem usada não tem como prever esse dinamismo do sistema. Assim, foi utilizada uma simplificação onde evita-se o problema da evaporação, que é de difícil modelagem e não está prevista no DOE 2.1-E.

A ausência de pesquisas no Brasil, com estimativas de valores de resistências térmicas das camadas de vegetação e solo úmido de coberturas naturadas [fazendo-se uso de dados obtidos a partir de medições de campo em prédios com coberturas naturadas no Rio de Janeiro e com o mesmo perfil da edificação hipotética simulada neste estudo de caso] levou o modelador a utilizar valores de resistências térmicas para estas respectivas camadas da cobertura naturada estimadas por WONG (ibid).

É importante deixar claro que a adoção para uso destes valores de resistências térmicas publicados no estudo de WONG (ibid) não foi aleatória, mas obedeceu a critérios de cunho científico: dentre as pesquisas de estudo de caso revisadas na bibliografia, esta foi realizada em cidade litorânea a beira-mar, de clima Tropical Quente e Úmido [Cidade de Singapura] - cidade que exhibe, portanto, uma configuração climatológica bastante próxima à realidade climática da cidade do Rio de Janeiro. Vale dizer ainda que as medições de campo que permitiram à equipe de Wong (Wong, ibid) estimar os valores de resistências térmicas das camadas de solo úmido e vegetação foram realizadas em um prédio comercial de um pavimento e com cobertura naturada: características arquitetônicas e com padrões de uso análogos ao do prédio hipotético do presente estudo de caso. Outro fator que deve ser levado em consideração é o fato de que, entre as espécies de vegetação estudadas na pesquisa de WONG (Wong, ibid) está a grama, mesmo porte de vegetação especificada no presente estudo de caso.

3.2. Simulação do Caso-Base.

A simulação do Caso Base foi realizada a partir do modelo representativo da edificação, de acordo com as bases de dados de entrada, conforme explicitado no item 3.1.3 supra. Abaixo segue a descrição da cobertura naturada, com os respectivos materiais constituintes, assim como valores de resistência térmica e absorvância solar:

1. Caso Base - Cobertura Naturada:

- Tipo de vegetação empregada: grama [9 cm].
- Espessura da camada do solo [100% de umidade]: 8 cm.
- Espessura da camada do filtro: 0.10 cm.
- Espessura da camada de drenagem: 5.0 cm.
- Espessura da laje impermeabilizada*: 12 cm [esp. das camadas de argamassa e impermeabilização à parte].
- Valor da resistência térmica: 3.57 [m².K/W].
- Absorvância Solar: $\alpha = 0,30$ (EUMORFOPOULOU, E.; ARAVANTINOS, D., 1998. P.29-30).

3.3. Simulação das Alternativas.

As simulações de todas as alternativas adotaram as *mesmas* bases de dados do Caso Base, mudando-se apenas a especificação da cobertura no bloco 02, de modo que fosse possível obter uma base homogênea de comparação. São estas bases de dados: Ano Climático de Referência [TRY]; especificações de técnicas construtivas e de materiais empregados nos demais elementos construtivos [paredes, esquadrias, pisos] para cada um dos blocos e zonas; escala de uso dos equipamentos em todas as alternativas por zonas; dados horários de ocupação em todas as alternativas por zonas; escala de uso da iluminação artificial por zonas; sistemas de ar-condicionado em todas as alternativas por zonas; coberturas aplicadas nos blocos 01 e 03 em todas as alternativas; agenda de feriados para todas as alternativas; valor do kWh adotado para todas as alternativas; etc. Assim, foi possível realizar uma análise paramétrica comparativa entre todas as alternativas do elemento cobertura aplicada no bloco 02 a partir da homogeneização de todos os demais dados do modelo representativo da edificação hipotética em todas as alternativas simuladas. Abaixo segue a descrição das coberturas alternativas, com os respectivos materiais constituintes, assim como valores de resistências térmicas e absorvâncias solares:

2. Alternativa 01 – Cobertura em Laje de Concreto Impermeabilizada:

- Espessura da laje impermeabilizada*: 12 cm [esp. das camadas de argamassa e impermeabilização à parte].
- Valor da resistência térmica: 0.29 [m².K/W].
- Absorvância Solar: $\alpha = 0,95$ (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2. 2005).

3. Alternativa 02 – Cobertura em Telha Metálica Sanduíche:

- Telha metálica em Aço Carbono [espessura 3 mm]*.
- Camada isolante térmica em plástico polipropileno expandido [espessura 3 cm].
- Telha metálica em Aço Carbono [espessura 3 mm].
- Valor de resistência térmica: 0.54 [m².K/W].
- Absorvância Solar: $\alpha = 0,40$. (pintura superficial na cor “alumínio”). (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2. 2005).

4. Alternativa 03 – Cobertura em Telha Cerâmica.

- Telha cerâmica modelo plana ou francesa. esp.=1.0 cm
- Estrutura: em madeira [ripas, caibros, terças, etc].
- Câmara de ar não-ventilada: esp.>5.0 cm / emis.>0.8, fluxo de calor vertical.
- Fôrro de madeira: esp. = 1.0 cm.
- Valor de resistência térmica: 0.43 [m².K/W].
- Absorvância Solar: $\alpha = 0,80$. (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2. 2005).

5. Alternativa 04 – Cobertura em Laje de Concreto Impermeabilizada com Isolamento Térmico.

- Espessura da laje impermeabilizada*: 12 cm [esp. das camadas de argamassa e impermeabilização à parte].
- Espessura da camada isolante térmica [plástico polipropileno endurecido]: 25 cm.
- Espessura da camada da placa de concreto: 5 cm.
- Valor de resistência térmica: 1.04 [m².K/W].
- Absorvância Solar: $\alpha = 0.95$. (Impermeabilização à base de pintura asfáltica de 10mm). (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2. 2005).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise do desempenho termoenergético das diversas cobertas simuladas é realizado através do impacto que cada uma destas alternativas promove no consumo de E.E. [energia elétrica] por uso final de ar-condicionado [cool+fans]. Tal fato é evidente, uma vez que o consumo de E.E. para os demais usos finais são iguais, em virtude da base homogênea de comparação estabelecida pela especificação das mesmas densidades de potência de iluminação e equipamentos para todas as zonas. A figura 5 que segue mostra o consumo anual de cada uso final nas diversas alternativas, enquanto que a figura 6 mostra o comportamento no consumo mensal de E.E. e a demanda mensal de potência solicitada entre as diversas alternativas ao longo do ano respectivamente.

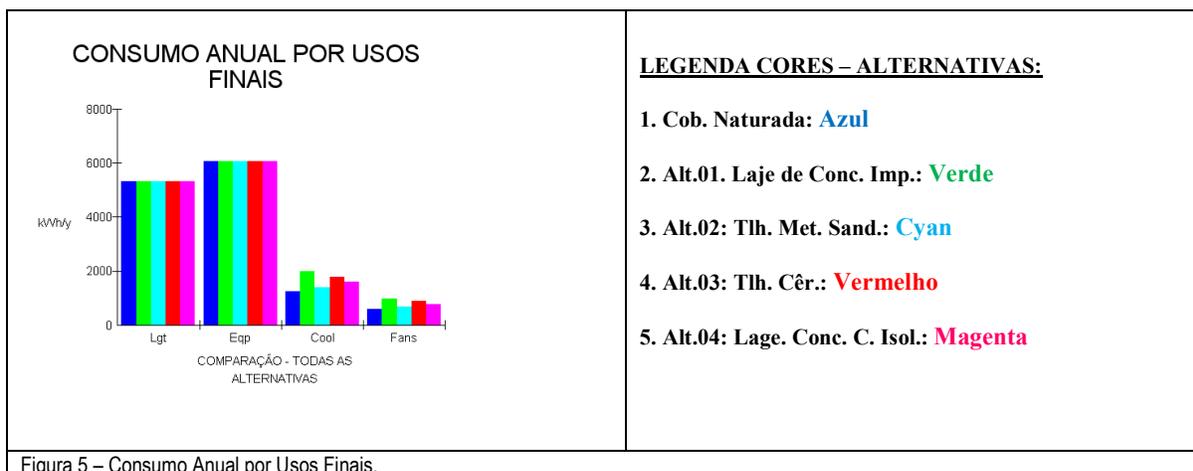


Figura 5 – Consumo Anual por Usos Finais.

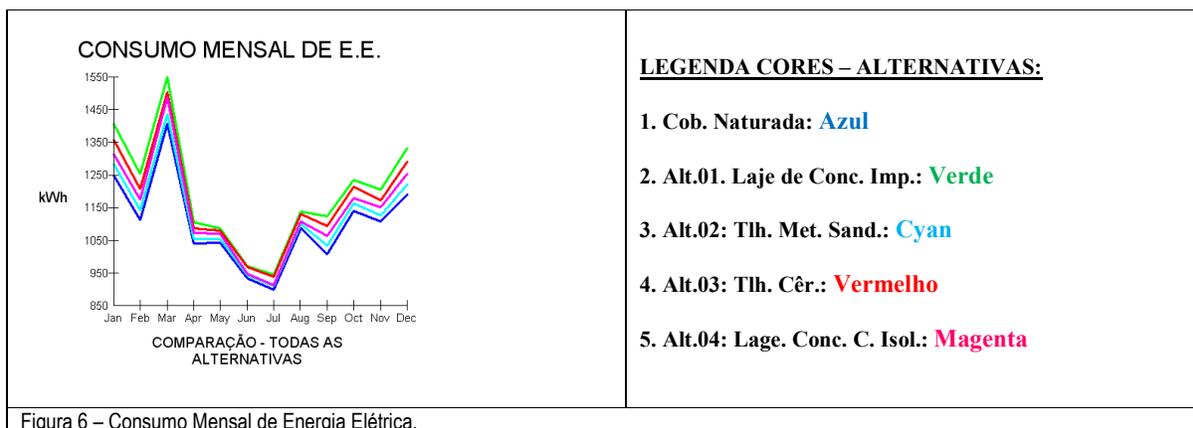


Figura 6 – Consumo Mensal de Energia Elétrica.

O comportamento análogo entre as linhas representativas das diversas alternativas nas figuras 5 e 6 supra é justificado devido à base homogênea de comparação adotada entre todas as alternativas simuladas, sendo que os resultados, desta forma, vão ao encontro das hipóteses adotadas no método empregado. Nota-se que o consumo de E.E. no inverno tem valores próximos para as diversas alternativas de coberturas, mas no verão os valores alcançam diferenças mais significativas devido à maior carga térmica transmitida aos interiores pela cobertura, fruto da mais forte incidência da radiação solar direta neste elemento construtivo [dada a trajetória mais elevada do sol] e, também, à temperatura mais elevada do ar externo, que intensifica as trocas de calor entre meios interiores e espaço exterior.

Estes fatores realizam contribuições importantes na formação da carga térmica no verão, aumentando a demanda principalmente pela maior solicitação do sistema de ar-condicionado. Vale destacar que esta análise é de fundamental importância, pois valida a hipótese adotada para a simulação paramétrica das diversas alternativas de cobertas simuladas. Nota-se que a cobertura naturada é, entre todas as alternativas simuladas, aquela que solicita o menor consumo de E.E. ao longo de todo o ano representativo simulado, apresentando comportamento mais estável.

Para fins de análise comparativa entre as coberturas simuladas, em termos percentuais, considerou-se a comparação do desempenho termo-energético das quatro alternativas em relação ao desempenho da melhor alternativa, que foi a cobertura naturada [considerando-se o percentual de aumento no consumo total de E.E. de cada alternativa em relação à cobertura naturada]. O ranking das coberturas, em ordem decrescente de acordo com o conceito do melhor desempenho termoenergético, partindo-se da melhor dentre todas as alternativas [a cobertura naturada] até a pior de todas as alternativas [laje de concreto impermeabilizada], segue na tabela I abaixo:

Tabela I – Comparação do Desempenho Termoenergético das Coberturas					
Cobertura (aplicada somente no Bloco 02 da edificação)	Consumo anual total de E.E. por uso final de ar- condicionado [kWh/ano]	Consumo anual total de E.E. [kWh/ano]	% do uso final de ar- condicionado em relação ao Consumo anual Total de E.E.	% do aumento no consumo anual total de E.E. em relação à Cobertura Naturada.	% do aumento no consumo anual total de E.E. por uso final de ar-cond. em relação à Cobertura Naturada.
1. Caso Base - Cobertura Naturada.	1.852,00	13.222,00	14.01%	-	-
2. Alternativa 02 - Telha Metálica com Isolamento Térmico.	2.104,00	13.474,00	15.62%	+ 1.91%	+13.61%
3. Alternativa 04 - Laje de Concreto Imp. com Isol. Térmico.	2.370,00	13.740,00	17.25%	+ 3.92%	+27.97%
4. Alternativa 03 - Telha Cerâmica.	2.680,00	14.050,00	19.07%	+ 6.26%	+44.71%
5. Alternativa 01 - Laje de Concreto Impermeabilizada.	2.983,00	14.353,00	20.78%	+ 8.55%	+61.07%

De posse dos valores obtidos, explicitados na tabela 1 acima, e considerando-se como parâmetro de avaliação a redução que a cobertura naturada proporciona quanto ao consumo anual total de E.E. pelo uso final de ar-condicionado, tem-se que a mesma é mais eficiente em termos percentuais, quanto ao desempenho termoenergético: 61.07% em relação à laje em concreto impermeabilizada; 44.71% comparativamente à telha cerâmica; 27.97% frente à laje de concreto impermeabilizada com isolamento térmico; e 13.61% face à telha metálica sanduíche com isolamento térmico. Outra comparação é possível, tomando-se como parâmetro de avaliação a redução que a cobertura naturada promove quanto ao consumo anual total de E.E. Segundo essa análise, tem-se que a cobertura vegetada é, em termos percentuais, mais eficiente do ponto de vista do desempenho termoenergético em relação às demais alternativas: 8.55% frente à laje de concreto impermeabilizada; 6.26% face a telha cerâmica; 3.92% em relação à laje de concreto impermeabilizada com isolamento térmico; 1.91% comparativamente à telha metálica sanduíche.

5. CONCLUSÕES

Como já era esperado, a exemplo dos resultados obtidos por WONG (ibid), a Cobertura Naturada para a cidade do Rio de Janeiro [Caso Base] teve o melhor desempenho termo-energético dentre todas as demais alternativas simuladas, seja considerando-se como fator de avaliação a redução que a mesma promove no consumo pelo uso anual final *total* de E.E., seja a minimização proporcionada no consumo anual total de E.E. pelo *uso final de sistema de ar-condicionado*.

Desta forma, a partir da análise realizada, de acordo com os resultados obtidos, dentre todas as opções de coberturas simuladas, tem-se que a cobertura naturada foi a mais eficiente do ponto de vista termo-energético, garantindo aos usuários conforto higrotérmico com o mínimo de aporte de energia elétrica.

No entanto, é importante ressaltar que, como esta pesquisa trata-se de um estudo de caso particular e face ao estado da arte, não é indicado generalizar [seja qualitativamente, seja quantitativamente] os resultados obtidos para outros climas e tipologias arquitetônicas. Sendo assim, sugere-se que novas pesquisas envolvendo estudos de caso de simulações termo-energéticas de coberturas vegetadas sejam realizadas, em vista da ampliação do conhecimento a respeito do tema.

6. REFERÊNCIAS BIBLIORÁFICAS

- 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**. Rio de Janeiro, 2005a.
- ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. UFPE, 2000.
- DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm>. Acesso em: 24 abr. 2007.
- EUMORFOPOULOU, E.; ARAVANTINOS, D., 1998. *The Contribution of a Planted Roof to the Thermal Protection of Buildings in Greece*. Energy and Buildings, nº 27, p.29-36, 1998.
- GHISI, E.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. 1997. *Determinação do Consumo de Eletricidade e da Potência de Equipamentos através de Medidor Portátil*. ENCAC, 1997.
- KOSAREO, L.; RIES, R., 2007. *Comparative environmental life cycle assessment of green roofs*. Building and Environment, nº42, 2007, p.2606-2613.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, O. R. F., 1997. *Eficiência Energética na Arquitetura*. Ed. PW, São Paulo, 1997.
- LOMARDO, L. L. B. 2000. *Estudo para uma regulação de estímulo à eficiência energética dos edifícios*. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro. [Rio de Janeiro] 2000. 148p., (COPPE/UFRJ, D. Sc, Planejamento Energético, 2000).
- LAMBERTS, R.; LOMARDO, L. L. B.; MASCARENHAS, A.C. et al. 2002. *Projeto 6 cidades: uma metodologia para avaliação energética predial*. PROCEL. (Brochura). 2002.
- MACHADO, L. F. C., 2002. *A cobertura naturada e a possibilidade de reutilização da água da chuva*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro. [Rio de Janeiro. 2002]. (PPGAU/UFRJ, M. Sc. Arquitetura e Urbanismo, 2002).
- MONTENEGRO, G. A., 1984. *Ventilação e Cobertas: estudo histórico, teórico e descontraído*. Ed. Edgard Blucher Ltda. São paulo, 1984, 3ª Reimpressão, 1991.
- PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. 2005. *Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente*. ENCAC p.39-54. Porto Alegre, jan/mar 2005.
- WONG, N. H.; CHEONG, D. K. W.; YAN, H.; SOH, J.; ONG, C. L.; SIA, A., 2003. *The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore*. Energy and Buildings, nº35, p. 353-364. 2003.

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte da dissertação de mestrado do arquiteto Vítório Paulo da Silva Filho, desenvolvido entre os anos 2006 e 2008 quando aluno da pós-graduação *Stricto-sensu* Mestrado em Arquitetura e Urbanismo do PPGARQURB da UFF, sob a orientação da prof. D.Sc. Louise Land Bittencourt Lomardo. Sem o seu muito bem realizado trabalho de orientação e sem o imenso apoio de todos os meus familiares, sobretudo da minha mãe, Perpétua Maria e do meu pai, Vítório Paulo, assim como dos meus irmãos, esta pesquisa não seria possível. Assim, registro aqui meus mais sinceros agradecimentos a todos. Agradeço a todos os pesquisadores, seja do Brasil ou do exterior, que com seus trabalhos realizados sobre o tema, contribuíram sem precedentes para a realização da presente pesquisa. Agradeço também à Estefânia Melo, autora do projeto, por toda informação e documentos a respeito da obra que me foi concedida, a exemplo dos renderings e desenhos técnicos. Agradeço ainda a Alessandra Valim por ter, com sua experiência acumulada de anos de trabalho com simulação termo-energética, me concedido valiosas informações durante o desenvolvimento dos experimentos. Por fim agradeço a Deus, por estar sempre a meu lado nos momentos mais difíceis.