

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS ABERTURAS NA CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE UMA AGÊNCIA BANCÁRIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA ZB-7

**Fabiano K. Mori<sup>(1)</sup>, Eduardo L. Krüger<sup>(2)</sup>**

(1) Caixa Econômica Federal – Gerência de Filial de Logística Curitiba - e-mail:  
fabiano.mori@caixa.gov.br

(2) Departamento Acadêmico de Construção Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
– Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil – e-mail: ekruger@utfpr.edu.br

## **Resumo**

*O objetivo deste trabalho foi analisar e classificar o desempenho energético da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária por meio de parâmetros do Método Prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), supondo sua implantação na Zona Bioclimática ZB-7. A análise considerou as quatro possibilidades de orientação solar da fachada principal da agência (Norte, Leste, Sul e Oeste). De acordo com a equação do Método Prescritivo do RTQ-C, a eficiência energética da envoltória seria classificada com o Nível A (mais eficiente) apenas para a orientação Oeste da fachada principal. Nas outras três possibilidades de implantação, a envoltória seria classificada com o Nível B. Para essas três situações, foram testadas estratégias bioclimáticas em relação às aberturas envidraçadas, tais como a retirada/introdução de elementos de sombreamento verticais (AVS) e horizontais (AHS) e também a alteração do fator solar dos vidros (FS). As alterações dessas variáveis foram testadas na equação do Método Prescritivo até que fosse obtido um indicador de eficiência da envoltória (ICEnv) que a classificasse com o Nível A. Os resultados apontaram 3 possibilidades distintas para a melhoria da classificação da eficiência energética da envoltória: aumentar o valor de FS, aumentar o valor de AVS ou reduzir o valor de AHS. Para avaliar o potencial de economia de energia elétrica do sistema de ar condicionado com as alterações propostas, foram realizadas simulações computacionais com o programa EnergyPlus. A simulação considerou o projeto original e o projeto otimizado, utilizando o arquivo climático do município de Cuiabá/MT. No caso da alteração do FS, a simulação apontou que o potencial de economia é praticamente nulo (0,04 a 0,50%). Com o aumento do AVS, as economias previstas foram de 0,68% (Sul), 2,80% (Leste) e 3,90% (Norte). Já a redução do valor de AHS não foi confirmada pela simulação, pois houve aumento do consumo de energia de 1,43% (Norte), 1,74% (Leste) e 3,23% (Sul).*

**Palavras-chave:** Eficiência Energética em Edificações, Arquitetura Bioclimática, Simulação Termoenergética.

## **Abstract**

*This study analyses and classifies the energy performance of a standard project of a bank branch according to the requirements of the Brazilian standard Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) for the Brazilian Bioclimatic Zone ZB-7. Whenever the building presented opportunities for improvement, bioclimatic strategies were tested with regard to glazed openings, such as shading devices (vertical and horizontal) and the solar factor of the glazing used. In three cases the envelope did not meet the "A" efficiency level requirements (main façade facing North, East and South). Under such conditions, parameters related to shading devices and to the solar factor of the glazing were altered in the relevant equations of the*

*prescriptive method for reaching the “A” level. For the purpose of evaluating the potential of electric energy savings due to air-conditioning of each tested alteration, simulations were run by means of the EnergyPlus software for the original and for the optimized project. For Cuiabá/MT (ZB-7) changes in the relevant parameters of the prescriptive method showed potential savings only for a modification of the vertical shading devices: 0.7% (main façade facing South), 2.8% (main façade facing East) and 3.9% (main façade facing North).*

**Keywords:** Energy Efficiency in Buildings, Bioclimatic Architecture, Thermal Simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Eficiência energética em edificações

Lamberts et al. (1997) conceituam eficiência energética como “a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais (internas) com menor consumo de energia”. As edificações apresentam oportunidades expressivas de redução de custos e economia de energia por meio do uso de produtos tecnologicamente mais eficientes e modernos, ações de conscientização de seus usuários ou ainda pela implantação de sistemas de gerenciamento da energia utilizada. A observância dos novos conceitos da arquitetura bioclimática e de eficiência energética, desde a fase de projeto das novas edificações e/ou nos de adequação de ambientes já existentes contribuem para melhorar o desempenho técnico e econômico destas edificações.

Dados do BEN - Balanço Energético Nacional 2011, ano base 2010 (EPE, 2011) mostram que os segmentos residenciais, comerciais e de serviços públicos representam 46,9% do consumo de energia elétrica no Brasil.

Estima-se que todo o custo operacional de um edifício ao longo de sua vida supere o custo total de construção do mesmo, sendo que energia elétrica é um dos principais custos operacionais. Por isso é importante investir em produtos tecnologicamente mais eficientes, ou mudanças arquitetônicas que visem conservar energia, que se pagarão ao longo dos anos com a economia gerada por eles, aliados a investimentos em conscientização dos usuários (LAMBERTS et al., 1997).

O desconhecimento de soluções arquitetônicas adequadas para a otimização das condições de conforto higrotérmico (ou diminuição do desconforto) em edificações acaba resultando em ambientes termicamente desfavoráveis. As consequências são, em geral, drásticas: prédios que apresentam um grande consumo de energia para condicionamento de ar no verão ou para calefação no inverno, ou situações em que a simples permanência no ambiente, seja ele local de trabalho ou de moradia, torna-se uma experiência bastante desagradável do ponto de vista do conforto de seus ocupantes. Indo-se um pouco mais além na análise das consequências, poder-se-á verificar a diminuição do rendimento nas atividades a serem realizadas, no caso de ambientes de trabalho, ou mal-estar físico, no caso de moradias.

Há a necessidade permanente de se conservar energia, não apenas para evitar desperdícios, mas para que não sejam necessários novos investimentos em obras de geração. Além disso, o setor da construção civil apresenta diversas distorções no que se refere a desperdícios de energia na fase de construção e durante a gestão de prédios. Assim, o estudo dos processos térmicos que ocorrem no interior de edificações pode atuar diretamente no consumo de energia para condicionamento artificial de ambientes durante a gestão dos edifícios, podendo representar uma redução de insumos energéticos no setor da construção civil, complementando ainda a função primordial de uma edificação, que é a de abrigar seus

ocupantes, protegendo-os das intempéries.

A certificação de edificações é novidade no Brasil, mas já é um tema bastante difundido e aplicado em outros países. No caso do RTQ-C, há a previsão que o mesmo tenha caráter compulsório para todas as novas edificações a serem construídas, dentro de um prazo a ser definido pelos órgãos competentes.

## **1.2. Classificação da eficiência energética de edificações no mundo**

Classificar o desempenho energético de edifícios está se tornando um aspecto de extrema importância do edifício em operação. Um edifício com uma alta classificação pode ser elegível para um reconhecimento especial através de um programa obrigatório ou voluntário. Este reconhecimento valoriza o imóvel, aumentando seu valor de venda ou de aluguel. Além disso, os sistemas de classificação também ajudam a identificar edifícios que consomem muita energia, fornecendo, então, oportunidade para que medidas de conservação energética possam ser tomadas. O sistema de classificação de edifícios é um fenômeno crescente e usado por vários países (OLOFSSON et al., 2004).

Praticamente todos os países da Europa, além dos Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão e China possuem um sistema de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios (SILVA, 2003). Nesses casos, as normas de eficiência energética de edificações não-residenciais apresentam duas abordagens: uma prescritiva e outra por desempenho. Costumam apresentar ainda uma abordagem alternativa, que pode envolver um sistema de trocas ou avaliações específicas por profissionais devidamente qualificados (CARLO, 2008).

A abordagem prescritiva estabelece limites ou indica soluções que atendem ao exigido para aprovação da edificação proposta, envolvendo propriedades físicas dos componentes da envoltória, como transmitância térmica, fator solar de vidros e resistência térmica de isolamentos.

## **1.3. O Regulamento Técnico da Qualidade do Inmetro**

O RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (INMETRO, 2010) conceitua edifícios comerciais e de serviços como “aqueles, públicos e/ou privados, usados com finalidade que não a residencial ou industrial.”

O processo de certificação do RTQ-C possui caráter voluntário e especifica métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto a sua eficiência. Aplica-se para edifícios com área mínima de 500 m<sup>2</sup> ou com tensão de abastecimento superior a 2,3 kV, contendo ou não sistema de climatização artificial. Seu objetivo é criar condições para a etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética dessas edificações.

No estudo de Carlo (2008), as equações que fornecem o Indicador de Consumo da Envoltória (ICenv) foram utilizadas na “Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos”, da qual originou-se o RTQ-C, tendo sido desenvolvidas para climas brasileiros diversos de acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Para determinação do nível de eficiência global da edificação são analisados os seguintes itens com seus respectivos pesos: envoltória (30%), sistema de iluminação (30%) e sistema de condicionamento de ar (40%). O quesito “envoltória” é um indicador de consumo referente à envoltória do edifício proposto. Deve ser calculado por fórmula que usa as seguintes variáveis: área de janelas, existência e dimensões de proteções solares, tipos de vidro, dimensões da edificação, zoneamento bioclimático

brasileiro. Edifícios que possuem áreas não condicionadas devem comprovar por simulação computacional que nesses locais a temperatura está dentro da zona de conforto durante um considerável percentual de tempo das horas de uso durante o ano. O item da envoltória indica o seu nível de eficiência energética segundo os parâmetros de classificação do Inmetro, sendo o nível mais elevado eficiência “A” e o mais baixo, eficiência “E”. O nível de eficiência é classificado de “A” a “E” para 3 quesitos. Calcula-se também uma pontuação geral para a edificação.

O quesito “envoltória” é um indicador de consumo referente à envoltória do edifício proposto. Deve ser calculado por fórmula que usa as seguintes variáveis: área de janelas, existência e dimensões de proteções solares, tipos de vidro, dimensões da edificação, zoneamento bioclimático brasileiro. Edifícios que possuem áreas não condicionadas devem comprovar por simulação computacional que nesses locais a temperatura está dentro da zona de conforto durante um considerável percentual de tempo das horas de uso durante o ano.

Os conceitos e definições das variáveis das equações do ICenv são os constantes no RTQ-C e disponíveis no Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>) (INMETRO, 2010)

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é analisar a influência de aberturas na classificação da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária na zona bioclimática brasileira ZB-7 por meio de parâmetros do RTQ-C do Inmetro.

## **3. METODOLOGIA**

Com base no projeto padrão de uma agência bancária, foi realizado o levantamento dos dados necessários para a aplicação da equação do indicador de consumo da envoltória (ICenv) do Método Prescritivo do RTQ-C para a Zona Bioclimática ZB-7, considerando-se ainda as 4 possibilidades de implantação da agência, de acordo com a orientação solar da fachada principal (a qual possui a maior área envidraçada). Adicionalmente, foram avaliadas as características dos materiais especificados para a construção da agência bancária, dados necessários para a obtenção dos valores de transmitância térmica e absorvância das paredes externas e da cobertura. Nas situações em que o edifício apresentou oportunidades de melhoria (quando a envoltória não atingiu a classificação com o nível “A”), foram testadas estratégias bioclimáticas em relação às aberturas envidraçadas, tais como sombreamentos (AVS e AHS) e alteração do fator solar (FS) dos vidros. Para avaliação do potencial de economia de energia elétrica do sistema de ar condicionado com as alterações propostas, foi realizada a simulação computacional com o programa EnergyPlus considerando-se o projeto padrão original e o projeto otimizado.

### **3.1. Descrição do objeto de estudo**

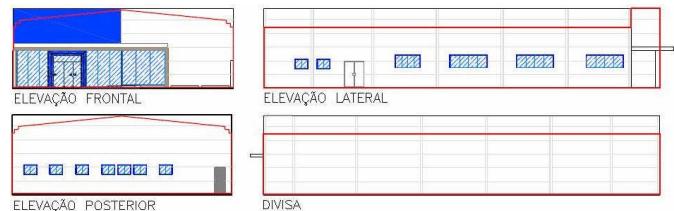
O projeto padrão analisado é de uma agência bancária de instituição financeira com atuação em todo o território brasileiro. A implantação do projeto foi prevista para qualquer localidade brasileira, necessitando-se de um terreno com dimensões de 40 metros por 20 metros. A área construída total é de 565,72 m<sup>2</sup> (sendo 532,20 m<sup>2</sup> de área útil), em pavimento único. Por se tratar de ambiente confinado devido à natureza da edificação (agência bancária), todos os espaços de permanência prolongada são condicionados artificialmente (área condicionada de 413,33 m<sup>2</sup>). Somente os ambientes de permanência transitória não possuem condicionamento de ar artificial (corredores, sanitários, copa, depósito, almoxarifado, arquivo), com uma área

de 118,87 m<sup>2</sup>. A Figura 1 mostra a maquete eletrônica da agência padrão. A fachada principal (elevação frontal) possui a maior área envidraçada quando comparada às demais elevações (lateral esquerda e posterior). Já a elevação lateral direita fica junto à divisa (limite do terreno), não possuindo aberturas externas. A Figura 2 mostra o desenho das elevações do projeto padrão.

Figura 1 – Maquete eletrônica da agência



Figura 2 – Elevações do projeto padrão da agência bancária



A Tabela 1 mostra a área das paredes externas de cada elevação, assim como a área de aberturas envidraçadas em cada uma das elevações.

Tabela 1 – Área das paredes externas

Elevação	Área total (m <sup>2</sup> )	Área de vidros (m <sup>2</sup> )	PAF (%) percentual de área de abertura da fachada
Frontal	107,43	31,04	28,89
Lateral	162,93	17,47	10,72
Posterior	107,43	4,31	4,02
Divisa	159,40	0,00	0,00
Total	537,19	52,83	9,83

A área das paredes externas é de 537,19 m<sup>2</sup> e a área da cobertura é de 569,27 m<sup>2</sup>. A soma dessas duas componentes totalizam 1.106,46 m<sup>2</sup>, que é área total da envoltória. O volume total da edificação é de 3.309,78 m<sup>3</sup>.

O fator de forma (FF) é obtido pela relação entre a área total da envoltória e o volume total da edificação. Para o projeto em análise, o FF é 0,3277 (adimensional para aplicação nas equações do ICenv). Outro parâmetro utilizado na equação do ICenv é o fator altura (FA), obtido pela relação entre a área de projeção da edificação e a área total de piso. No caso do projeto, esses dois valores são iguais (a agência é térrea), sendo que o FA é 1,00.

O sistema construtivo adotado no projeto padrão é baseado na tecnologia “steel frame”. Nesse projeto padrão também são utilizados materiais industrializados para os fechamentos das paredes externas, tais como placas e telhas isotérmicas. A cobertura da agência é composta com telhas metálicas do tipo “sanduíche”, sendo a face externa uma chapa de aço tipo “galvalume” pré-pintada de branco, tendo logo abaixo uma camada com isolante térmico de poliuretano e a face inferior outra chapa de aço do tipo “galvalume”. O entreforro pode ser considerado com uma câmara de ar não ventilada (onde se situam as instalações elétricas não aparentes, assim como as tubulações de ar condicionado). Logo abaixo, há a instalação de forro do tipo fibra mineral com propriedades termoacústicas. Na paginação desse forro são embutidas as luminárias e também as saídas de ar do sistema de climatização artificial da agência.

A transmitância térmica calculada para as paredes externas do projeto padrão é Upar = 0,490 W/(m<sup>2</sup>.K). Em relação às cores das paredes, externamente a agência possui cores claras, com absorvância solar média de  $\alpha_{par} = 0,23$ , utilizando os dados da Tabela B.2 - absorvância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns

(ondas longas), do Anexo B da NBR 15220 – Parte 2.

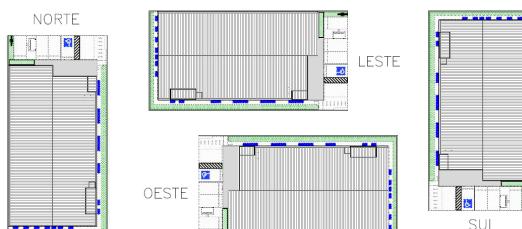
O valor da transmitância térmica calculado para a cobertura do projeto padrão é  $U_{cob} = 0,449 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Em relação às cores da cobertura, a telha possui na face externa uma chapa metálica pré-pintada na cor branca. De acordo com a Tabela B.2 do Anexo B da NBR 15220 – Parte 2, tem-se o tipo de superfície descrita como “chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)”, sendo adotado o valor de  $\alpha_{cob} = 0,25$  para a absorção média da cobertura do projeto padrão.

O RTQ-C estabelece pré-requisitos específicos para a envoltória, de acordo com o nível de eficiência energética pretendido. Os valores calculados de transmitância térmica das paredes externas ( $U_{par}$ ) e da cobertura ( $U_{cob}$ ), absorção solar das paredes externas ( $\alpha_{par}$ ) e da cobertura ( $\alpha_{cob}$ ) atendem os pré-requisitos para o nível “A” de eficiência energética da envoltória para a Zona Bioclimática ZB-7.

### 3.2. Implantação do projeto de acordo com a orientação solar da fachada principal

Para o estudo foram adotadas 4 possibilidades de implantação de projeto de acordo com a orientação solar da fachada principal, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Implantação do projeto padrão de acordo com a orientação solar da fachada principal



A Tabela 2 mostra os valores dos componentes das variáveis arquitetônicas que influenciam nas aberturas envidraçadas para o projeto padrão. O fator solar dos vidros é a média ponderada dos valores de fator solar de cada tipo de vidro em função da área ocupada por essas aberturas envidraçadas. À exceção dos vidros da elevação frontal (laminados) e das janelas do salão de atendimento, os demais possuem FS igual a 0,87 (vidro transparente). Já os ângulos de sombreamento verticais (AVS) e horizontais (AHS) foram calculados em função dos elementos arquitetônicos que proporcionam sombreamento das aberturas envidraçadas, tais como brises, marquises e recuos.

Tabela 2 – Parâmetros das aberturas envidraçadas

FS – fator solar médio dos vidros	AVS – ângulo vertical de sombreamento	AHS – ângulo horizontal de sombreamento
0,60	33,47°	18,47°

De acordo com o RTQ-C, na equação para o cálculo do ICenv, o percentual de área de abertura na fachada total (PAFT) corresponde a um valor médio representativo do percentual de aberturas de todas as fachadas. Para o uso deste valor, primeiramente deve-se realizar o cálculo do PAF para a fachada Oeste (PAFO) e em seguida o PAFT. Se o PAFO for pelo menos 20% maior que o PAFT, deve-se adotar o PAFO na equação. Para o projeto padrão em análise, o PAFO é maior que o PAFT em 20% apenas para a implantação onde a fachada principal é voltada para a face Oeste, conforme demonstrado na Tabela 3. Portanto, nas equações para a análise da envoltória, o PAFT utilizado deve ser de acordo com a coluna PAFT eq. da Tabela 3.

Tabela 3 – PAF de acordo com a orientação solar da fachada principal

Orientação solar	PAFT	PAFO	PAFT+20%	PAFT eq.
Norte	9,8%	0,0%	11,8%	9,8%
Leste	9,8%	4,0%	11,8%	9,8%

Sul	9,8%	10,7%	11,8%	9,8%
Oeste	9,8%	28,9%	11,8%	28,9%

Para a equação do ICenv, as seguintes variáveis foram consideradas com valores fixos: FA = 1,00; FF = 0,3277; PAFT = 0,098 (para implantação do projeto com a fachada principal orientada para o Norte, Leste e Sul); PAFT = 0,289 (para implantação do projeto com a fachada principal orientada para o Oeste). Já as variáveis FS, AVS e AHS foram consideradas passíveis de alteração, visando à otimização do projeto padrão com valores que tornem sua classificação energética mais eficiente.

### 3.3. Teste de valores de AVS, AHS e FS para análise da envoltória

Nas situações em que a classificação do nível de eficiência energética da envoltória do projeto padrão não atingiu o nível “A” (mais eficiente) pelo Método Prescritivo do RTQ-C, foram avaliadas alterações nas variáveis em alguns parâmetros das equações do ICenv, tais como proteções solares externas (AVS e AHS) e características técnicas dos vidros (FS), visando à melhoria da classificação do nível de eficiência energética. Para a determinação dos valores otimizados, foi utilizada a ferramenta “Atingir Meta” do Microsoft Excel, tendo como valor a ser atingido o ICenv menor que o ICmín limite para a classificação com o nível “A”, variando-se apenas um dos três parâmetros e mantendo-se as demais variáveis fixas.

### 3.4. Metodologia de simulação computacional

A etiquetagem da eficiência energética de edifícios pode ser realizada através dos Métodos Prescritivo ou de Simulação, de acordo com o RTQ-C. Ambos os métodos devem atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e a eficiência do sistema de condicionamento de ar. O Método de Simulação descrito no RTQ-C compara o desempenho do edifício proposto (real) com um edifício similar (de referência), cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido. Portanto, dois modelos devem ser construídos: o modelo representando o edifício real (de acordo com o projeto proposto) e o modelo de referência (de acordo com o nível de eficiência pretendido).

A metodologia de simulação proposta neste trabalho difere do Método de Simulação definido no RTQ-C, pois o objetivo da simulação computacional neste estudo é estimar o potencial de economia de energia do sistema de climatização em função de alterações propostas para as aberturas envidraçadas de um projeto padronizado. Para a metodologia proposta neste trabalho, a ferramenta utilizada foi o programa EnergyPlus (que também pode ser utilizado para a etiquetagem de edificações através do Método de Simulação do RTQ-C).

O EnergyPlus é um programa de simulação computacional que objetiva auxiliar o estudo e análise de edifícios do ponto de vista termoenergético. A ferramenta foi concebida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos a partir de programas já existentes, como o Blast e o DOE-2. O programa simula a carga térmica de uma edificação com base nas descrições e parâmetros previamente definidos pelo usuário. Assim, o EnergyPlus calcula a quantidade de energia necessária para que a temperatura do ar ambiente interior se mantenha dentro dos limites aceitáveis. Como dados de entrada, o EnergyPlus utiliza informações como localização geográfica, geometria e materiais constituintes do edifício, zonas térmicas, arquivos climáticos, equipamentos, iluminação, pessoas e padrões de uso. Como resultados, o programa fornece dados de saída relativos a temperatura exterior, temperatura interior em cada zona térmica, necessidades de energia para aquecimento e resfriamento e trocas de calor pelos elementos da envoltória.

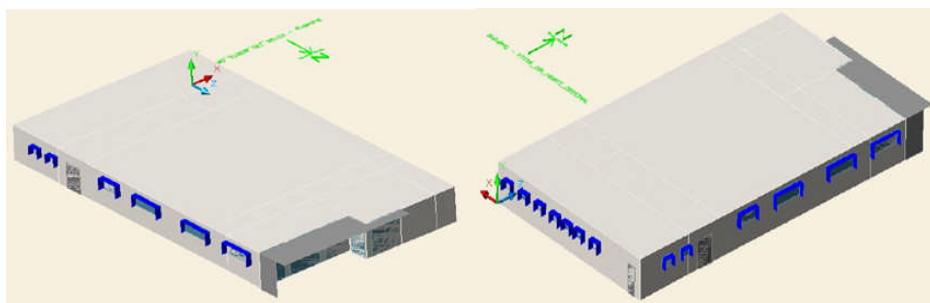
Neste trabalho, o EnergyPlus foi utilizado para a análise do potencial da redução do consumo

de energia elétrica com o sistema de condicionamento de ar em função das alterações propostas na envoltória do projeto padrão. Inicialmente, foram inseridos os dados de entrada do projeto padrão original e executada a simulação para a verificação do gasto energético anual com o sistema de condicionamento de ar. Para a simulação, o EnergyPlus utiliza arquivos climáticos que fornecem valores horários (mínimo 8.760 horas= 1 ano de dados) para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar, cujos formatos (TRY, TMY, SWEC, CTZ2 etc.) estão publicados no site do U.S. Department of Energy -Energy Efficiency & Renewable Energy e também no site do LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.

Quanto aos padrões de uso (“schedules”), estes foram definidos por zona térmica e pelas cargas envolvidas (iluminação, equipamentos e pessoas). O horário normal de expediente bancário (atendimento ao público) é somente durante os dias de semana, das 10h às 16h. Esse é o padrão de uso do salão de atendimento da agência. Alguns ambientes internos possuem equipamentos de informática que funcionam 24 horas por dia. Apesar de não haver empregados trabalhando nesses ambientes permanentemente, o calor dissipado pelos equipamentos obriga a instalação de sistemas de ar condicionado que operam em regime contínuo. É o caso da sala técnica e do corredor de manutenção. Na parte posterior da agência ficam os ambientes de acesso restrito e instalações sanitárias. Por serem ambientes de permanência não prolongada, não necessitam de sistema de climatização especial e por isso são ambientes não condicionados artificialmente. Já a sala de autoatendimento possui horário diferenciado. Funciona 7 dias por semana, das 6h às 22h. No horário das 6h às 18h, o sistema de iluminação funciona parcialmente, já que as luminárias próximas às áreas envidraçadas permanecem desligadas (contribuição de luz natural). Das 18h às 22h, todas as luminárias permanecem ligadas. Além do salão de atendimento, é o único ambiente que foi considerado para o conforto térmico de pessoas e que necessita de sistema de climatização artificial.

Os ângulos verticais de sombreamento (AVS) são proporcionados por brises horizontais (“overhangs”) junto às janelas e pelas marquises (“shading zone detailed”) na entrada da agência. Já os ângulos horizontais de sombreamento (AHS) são proporcionados por brises verticais (“fins”) e também pela volumetria junto à entrada. Como saída da simulação, são gerados arquivos do tipo dxf (desenho) e planilhas no formato csv. Os arquivos gráficos de saída da simulação do projeto padrão original no EnergyPlus são mostrados na Figura 4.

Figura 4 – Vista em 3D do projeto padrão original da agência bancária (arquivo gráfico gerado pelo EnergyPlus)



Os termostatos de cada zona térmica foram ajustados para acionar o sistema de resfriamento quando a temperatura interna for superior a 24°C (de acordo com os padrões técnicos da instituição bancária, não é previsto aquecimento para os sistemas de ar condicionado). Os sistemas de ar condicionado (“HVAC”) do projeto padrão são do tipo “split unitário”. O padrão de uso é em função da utilização por pessoas (salão de atendimento ao público e sala de autoatendimento) ou por equipamentos (sala técnica e corredor de manutenção). Como o

sistema de iluminação e a carga dos equipamentos de informática são iguais para o projeto padrão independentemente do local de implantação, a ênfase da análise foi em relação ao consumo esperado para o sistema de ar condicionado (ventilação e resfriamento), pois este é influenciado diretamente pelas alterações propostas para a envoltória.

Em consulta aos sites do U.S. DOE e LabEEE, os arquivos disponíveis para a simulação computacional para a ZB-7 são de Cuiabá/MT (Cuiaba-Marechal.Ron.833620) e Petrolina/PE (Petrolina.829840). Para as simulações deste trabalho, foi utilizado o arquivo climático do município de Cuiabá/MT.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

##### **4.1. Classificação do nível de eficiência energética da envoltória do projeto padrão original por meio do Método Prescritivo do RTQ-C (situação existente)**

Com base nos valores das variáveis arquitetônicas do projeto padrão, foram desenvolvidos os cálculos com a aplicação da equação e tabelas do Método Prescritivo do RTQ-C para a ZB-7. Foram analisadas as 4 situações possíveis de implantação do projeto padrão de acordo com a orientação solar da fachada principal, sendo que a implantação do projeto com a orientação da fachada principal para Norte, Leste e Sul atingiu o nível “B” e somente com a fachada orientada para Oeste foi obtido o nível “A”.

##### **4.2. Propostas de diretrizes para melhoria do desempenho energético da envoltória do projeto padrão e obtenção da classificação da eficiência energética com o nível “A”**

As diretrizes propostas foram baseadas em algumas estratégicas bioclimáticas em relação às aberturas envidraçadas, como a alteração dos ângulos de sombreamento (AVS e AHS) e características técnicas do vidro (FS), mas sem alteração da área das aberturas (PAFT). Na equação, as variáveis FA e FF foram mantidas fixas, para não alterar a volumetria da edificação.

Para otimização da eficiência energética da envoltória para obtenção do nível “A”, considerando a implantação da agência com a orientação da fachada principal para o Norte, Leste e Sul, são consideradas três opções distintas.

Como primeira opção, foi proposta a retirada das proteções solares verticais das janelas laterais e dos fundos. Com essa alteração, o AHS médio do projeto passa a ter o valor de 13,10°, resultando no ICenv com o valor de 131,62.

Como segunda opção, foi proposta aumentar a largura da marquise sobre um dos vidros da fachada frontal em 1 metro, resultando no AVS médio de 40,07°. Com isso, o ICenv obtido foi de 133,88. Como terceira opção, foi proposta a substituição do vidro de apenas uma das aberturas (no caso, da janela de 2,00m x 1,00m do salão de atendimento) por um vidro com FS de 0,79, obtendo-se o FS médio de 0,61. Com isso, o ICenv seria 134,09.

No caso das propostas de melhorias para a Zona Bioclimática ZB-7, a equação do Método Prescritivo mostra que poderia ser executada qualquer uma das propostas anteriores de maneira independente, para obtenção da classificação da envoltória com o nível “A”.

##### **4.3. Análise das economias de energia por meio de simulação computacional com o programa EnergyPlus**

Conforme visto, as alterações dos valores na equação do Método Prescritivo para a ZB-7

indicaram três possibilidades para melhoria do projeto original (aumentar o valor médio do FS, aumentar o valor médio do AVS ou reduzir o valor médio do AHS). As simulações computacionais para validação das equações da ZB-7 foram feitas considerando o arquivo climático do município de Cuiabá/MT.

No caso da alteração do FS, a simulação apontou que praticamente não haveria economia em termos de redução de consumo energético em climatização, pois a diferença verificada é insignificante e de apenas -0,04% (fachada principal para o norte), 0,04% (fachada principal para o Leste) e 0,5% (fachada principal para o Sul). Ou seja, a equação do ICenv com a alteração do FS atinge a classificação com o nível “A” de acordo com Método Prescritivo, mas não apresenta relevante potencial de redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado.

Já com a proposta de alteração do projeto com aumento do valor de AVS (aumento da largura da marquise sobre uma das aberturas envidraçadas da fachada principal), as economias verificadas pela simulação foram de 3,9% para a fachada Norte, 2,8% para a fachada Leste e 0,7% para a fachada Sul. Ou seja, a equação do ICenv com o aumento do AVS melhora a classificação da envoltória de acordo com Método Prescritivo e é validada ainda que marginalmente pelos resultados da simulação computacional.

Já a proposta de alteração do projeto padrão com a redução do valor médio de AHS (retirada de proteções solares verticais das janelas) não foi confirmada pela simulação, pois houve indicativo de aumento do consumo de energia elétrica de 1,4% com a fachada principal para o Norte, 1,7% com a fachada principal para o Leste e 3,2% com a fachada principal para o Sul.

As Tabelas 4, 5 e 6 mostram os valores da simulação do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado considerando o projeto original e as alterações propostas para a envoltória, com o projeto padrão implantado para as fachadas Norte, Leste e Sul, respectivamente.

Tabela 4 – Potencial de economia de energia elétrica do sistema de ar condicionado, para a implantação da agência com a fachada principal para o Norte na cidade de Cuiabá/MT – consumo mensal em kWh

Fachada Norte	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Projeto Original	248	215	220	176	186	133	141	226	225	301	207	232
Aumento do FS	248	215	220	176	186	134	141	226	226	301	208	232
Aumento do AVS	246	213	217	168	167	114	12	211	222	299	205	229
Redução do AHS	252	217	223	179	189	136	143	228	228	304	211	236

Tabela 5 – Potencial de economia de energia elétrica do sistema de ar condicionado, para a implantação da agência com a fachada principal para o Leste na cidade de Cuiabá/MT – consumo mensal em kWh

Fachada Norte	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Projeto Original	246	213	219	166	153	91	106	203	220	295	206	234
Aumento do FS	246	213	219	166	153	91	106	203	203	295	205	234
Aumento do AVS	239	206	213	162	149	88	102	199	215	290	198	226
Redução do AHS	252	216	222	169	155	93	108	206	222	297	211	241

Tabela 6 – Potencial de economia de energia elétrica do sistema de ar condicionado, para a implantação da agência com a fachada principal para o Sul na cidade de Cuiabá/MT – consumo mensal em kWh

Fachada Norte	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Projeto Original	293	248	253	195	185	116	130	238	258	346	247	278
Aumento do FS	292	247	252	194	184	115	129	236	256	344	246	276
Aumento do AVS	291	246	251	194	185	116	129	237	257	344	245	275
Redução do AHS	296	251	259	203	200	129	142	250	264	350	251	282

A Tabela 7 mostra de forma resumida os dados do projeto padrão original e as alterações propostas, com a nova classificação da eficiência energética da envoltória e os resultados da simulação computacional, com o potencial de redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado.

Tabela 7 – Análise comparativa das alterações propostas para a envoltória e o potencial de redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado

Orientação solar		Norte			Leste			Sul		
Projeto padrão original	FS	0,60			0,60			0,60		
	AVS	33,47°			33,47°			33,47°		
	AHS	18,47°			18,47°			18,47°		
	ICenv	134,73			134,73			134,73		
	Classif	B			B			B		
	ConsumoHVAC	2511 kWh			2353 kWh			2786 kWh		
Projeto padrão otimizado	FS	0,60	0,60	<b>0,61</b>	0,60	0,60	<b>0,61</b>	0,60	0,60	<b>0,61</b>
	AVS	33,47°	<b>40,07°</b>	33,47°	33,47°	<b>40,07°</b>	33,47°	33,47°	<b>40,07°</b>	33,47°
	AHS	<b>13,10°</b>	18,47°	18,47°	<b>13,10°</b>	18,47°	18,47°	<b>13,10°</b>	18,47°	18,47°
	ICenv	131,62	133,88	134,09	131,62	133,88	134,09	131,62	133,88	134,09
	Classif	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	ConsumoHVAC	2547 kWh	2413 kWh	2512 kWh	2394 kWh	2287 kWh	2352 kWh	2876 kWh	2767 kWh	2772 kWh
Economia (kWh) e redução percentual		-36	98	-1	-41	66	1	-90	19	14
<b>-1,4%</b>		3,9%	<b>-0,04%</b>	<b>-1,7%</b>	2,8%	0,04%	<b>-3,2%</b>	0,7%	0,5%	

#### 4.4. Considerações finais

Após o levantamento dos dados do projeto arquitetônico e a aplicação desses valores na equação do Método Prescritivo do RTQ-C, verificou-se que em 3 situações a envoltória não obteve a classificação com o nível “A” na ZB-7, com a implantação do projeto com a fachada principal com a orientação solar para o Norte, Leste e Sul. Embora alterações nos parâmetros FS, AVS e AHS da equação do ICenv tenham classificado a envoltória como nível “A”, os resultados da simulação mostraram que essas alterações pouco contribuem para redução do consumo de energia em climatização (com redução percentual máxima de 3,9% do consumo original). Em alguns casos, haveria um aumento do consumo de energia elétrica com o sistema de ar condicionado: desconsiderando valores exíguos como o da alteração do FS para uma fachada Norte, observou-se um aumento de consumo de 3,2% com a redução do AHS para uma fachada Leste. **Tais observações podem indicar a necessidade de se rever as equações norteadoras do RTQ-C para a ZB-7.** No caso do estudo da agência, nota-se que a retirada de sombreamentos de janelas voltadas para Leste acarreta maior período de insolação com decorrente aumento de consumo de energia em condicionamento de ar (a prática recomenda o contrário para regiões de clima quente).

#### 4.5. Sugestões para pesquisas futuras

É sugerido o acompanhamento do consumo de energia de uma edificação baseada no projeto padrão já construída, para comparar os resultados previstos em projeto e os valores reais medidos.

Outra sugestão é a formação de banco de dados para futuras comparações realizadas com edifícios de referência (no caso, agências bancárias), que estabelecem qual edificação é mais ou menos eficiente que o de referência. Uma base de dados com diversos edifícios já cadastrados pode gerar *benchmarkings*, onde se avalia a eficiência de um edifício sendo mais ou menos eficiente em relação a um grupo extenso. Esse grupo pode ser descrito pela atividade institucional ou comercial dos edifícios (que tendem a conter características primárias semelhantes) e podem alcançar abrangência nacional.

### REFERÊNCIAS

CARLO, J. C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. CTC

Centro Tecnológico da UFSC. Florianópolis, 2008

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW, 1997. 188 p. il.

OLOFSSON, T; MEIER, A; LAMBERTS, R. Rating the Energy Performance of Buildings. In International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, vol. 3, 2004.

SILVA, V. G., 2003. Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Eng. Civil. São Paulo, 2003.

U.S. Department of Energy. ENERGYPLUS, versão 6.0. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02: 135.07-002. Projeto de normalização em conforto ambiental. Parte 2 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003. 7p.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2011. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>> Acesso em: 11/01/2012.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria nº 372, de 10/09/2010. Aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em 10/12/2011.