



**XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GER/17
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - XIV

GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET

SIMULAÇÃO ENERGÉTICA COMPUTACIONAL: METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES UTILIZANDO-SE O SOFTWARE DOMUS ELETROBRÁS

Fernanda Celupi(*)	Nathan Mendes	Walter Mazuroski
PUC - PR	PUC - PR	PUC-PR
Luciana D.L. Machado	Elisete Cunha	Marco A.R.G. Moreira
ELETROBRAS	ELETROBRAS	ELETROBRAS
		Fernando P.D. Perrone
		ELETROBRAS

RESUMO

Os edifícios comerciais, de serviços e públicos tiveram seu Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ-C) aprovado em junho de 2009. O RTQ-C baseia-se na avaliação de três requisitos principais: o desempenho térmico da envoltória do edifício; a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação; e a eficiência do sistema de condicionamento do ar através de dois métodos de avaliação, o prescritivo e o de simulação.

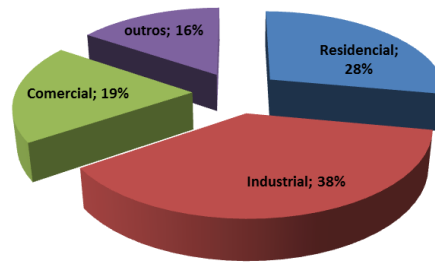
Baseado no método da simulação este trabalho busca a integração do software de avaliação higratérmica e energética de ambientes, Domus, com o RTQ-C, passando o software a ser denominado, mediante a inserção desta funcionalidade, de Domus Eletrobras. Para tal foi desenvolvido uma metodologia de avaliação do nível de eficiência segundo o estabelecido no regulamento e validado através de um estudo de caso baseado numa edificação padrão de escritórios localizada na região de Curitiba – PR.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência energética. Edifícios de escritórios. RTQ-C. DOMUS-Eletrobras. Método da Simulação

1.0 - INTRODUÇÃO

O atual cenário energético brasileiro nos traz grande preocupação sobre as dificuldades de abastecimento, esgotamento dos recursos energéticos e os impactos ambientais. Dados do EPE (Empresa de Pesquisa Energética) mostram que em 2014 a maior expansão do consumo de energia foi nos setores comercial e serviços com um aumento de 7,3% em relação a 2013, sendo o setor comercial responsável por 19% do consumo de energia elétrica [1], ver FIGURA 1. Muitos são os esforços em diferentes áreas para contribuir com a redução do consumo de energia sendo, a simulação energética, uma grande aliada para os profissionais da área pois através dos programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar, além de prever diversos resultados e verificar a melhor solução para determinados ambientes.



Fonte: EPE, 2014

FIGURA 1: Composição Setorial do Consumo de Eletricidade em 2014.

Como ferramenta para simular e analisar parâmetros como conforto térmico e consumo de energia em edificações, foi criado o software *Domus*. O software pode ser considerado de grande importância para melhora de projetos residenciais, comerciais e industriais, tornando viável sua maior eficiência energética, sem diminuir os índices de conforto dentro da edificação.

No Brasil, o projeto de edificações recebe pouca atenção quanto ao uso racional de energia, principalmente devido à falta de legislação. Porém, este cenário tende a mudar com o advento do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, o qual institui condições de envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar para a etiquetagem do desempenho termo-energético de edificações e com a promulgação da Instrução Normativa nº 02, de 4/6/14 do Ministério do Planejamento, em vigor desde 05/08/2014, que dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit.

Os autores agradecem o apoio financeiro da Eletrobras concedido por meio do convênio firmado entre PUCPR e Eletrobras (Ref. ECV 283/08, Software Domus: Validação, Pesquisa e Disseminação) que permitiu o desenvolvimento da biblioteca dinâmica RTQ-C.dll para análise de eficiência energética de edificações comerciais, públicas e de serviços.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

2.1 Desenvolvimento do Algoritmo para integração do RTQ-C ao programa de simulação DOMUS

O algoritmo desenvolvido visa atender o disposto no Regulamento Técnico da Qualidade para Edifícios, o RTQ-C. Neste regulamento além da metodologia de cálculo para determinação da eficiência de cada sistema, pré-requisitos específicos são definidos e devem ser considerados pois elevam a edificação a classificação desejada ou, em alguns casos, pode restringir a classificação.

Através de uma dll (Dynamic-link library) já existente no programa de simulação Domus, que calcula o nível de eficiência pelo método prescritivo, é calculado o ICenv para cada nível de classificação. A fórmula para cálculo desse índice depende da Zona Bioclimática (ZB), sendo que algumas ZB foram agrupadas e são representadas pela mesma equação da área de projeção da edificação.

Definido o ICenv são então, calculados os limites dos intervalos dos níveis de eficiência conforme explicitado no RTQ-C. Essas informações ficam guardadas num arquivo .txt dentro do Domus Eletrobras. Após calculado o ICenv é calculado um novo PAFT, porém com alguns parâmetros pré-definidos no regulamento como AVS=AHS=0 e FS = 0,87. Com esse novo percentual de abertura das fachadas, são alteradas todas as aberturas proporcionalmente até que o novo PAFT seja atendido. Após, o projeto passa para novo passo que é a verificação dos pré-requisitos específicos da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar de acordo com cada nível de eficiência.

O fluxograma abaixo mostra o primeiro passo da metodologia proposta para a construção dos quatro projetos de referência, projeto nível A, B, C e D, para determinação do nível de eficiência através do método de simulação.

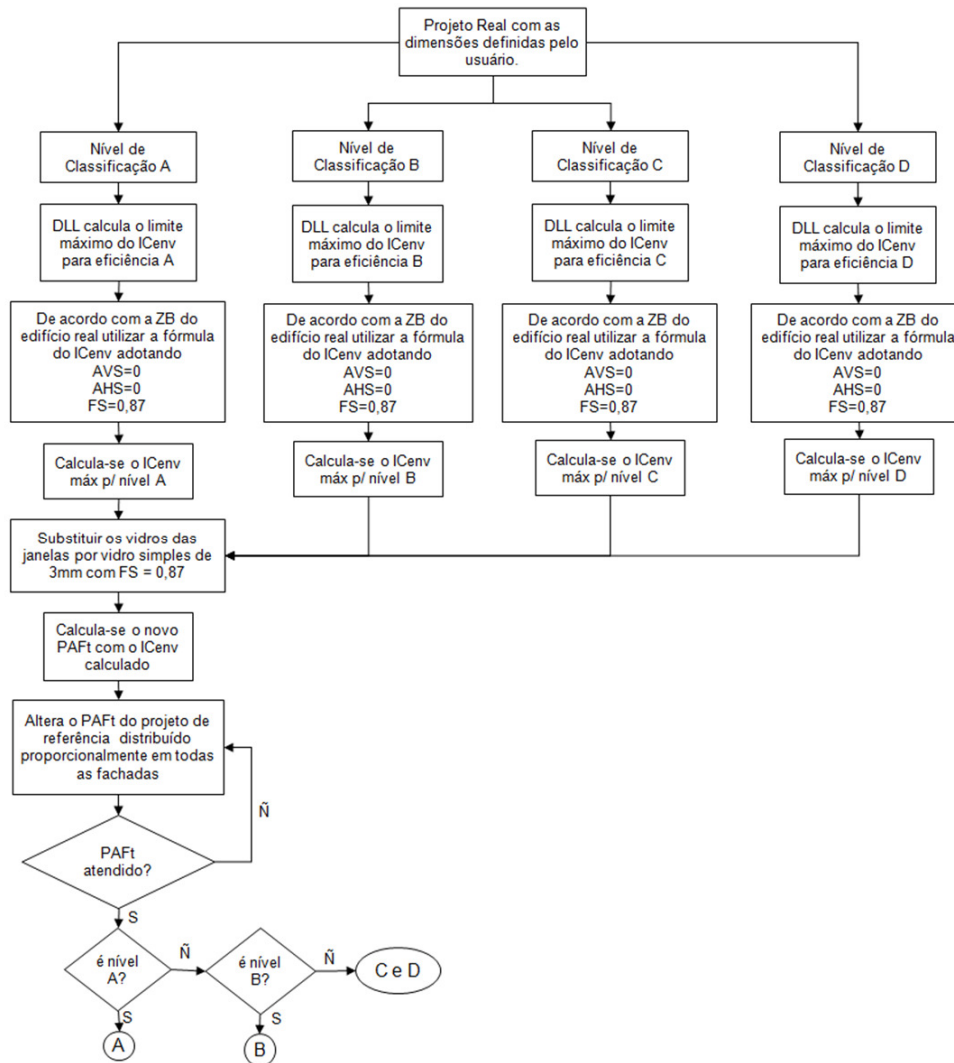


FIGURA 2: Fluxograma inicial com a metodologia para construção dos projetos nível A, B, C e D

2.1.1 Metodologia do Sistema da Envoltória

O método prescritivo estabelece diferentes valores de transmitância térmica para diferentes zonas bioclimáticas, então primeiramente é necessário fazer uma verificação de qual zona a edificação está inserida para determinar qual equação será aplicada. Existem também diferentes valores de transmitância térmica estabelecidos caso seja parede externa ou cobertura, então o Domus Eletrobras faz uma rotina de verificação da camada para identificar qual tipo é a camada, externa, interna ou cobertura. Caso a camada seja cobertura ainda é necessário verificar se o ambiente é condicionado artificialmente ou não.

Através de uma rotina computacional já existente no Domus é calculado as transmitâncias das camadas. Através de uma comparação verifica-se o valor de transmitância térmica estabelecida na norma com a calculada e a necessidade de ajuste do valor da transmitância de forma que atenda o pré-requisito. Na metodologia definida existem duas situações: quando a transmitância é menor que o definido em norma, e quando ela é maior. No primeiro caso, quando a transmitância for inferior ao valor definido na norma será diminuída a espessura da camada mais significativa, que por requisito do projeto, é a de maior espessura. Essa redução na espessura da camada tem por finalidade ajustar a transmitância térmica para os valores desejados conforme norma, já que, reduzindo a espessura a resistência térmica é diminuída e consequentemente, o valor da transmitância térmica aumenta visto que são medidas inversamente proporcionais. Já para o caso em que a transmitância for maior que valor definido na norma, a metodologia propõem a inclusão de uma camada isolante na camada externa sendo sua espessura calculada a fim de obter a transmitância desejada.

Determinada a metodologia para atingir os níveis desejados de transmitância conforme estabelecido nos pré-requisitos do método prescritivo, o Domus Eletrobras parte para a etapa de varredura de camada a camada identificando seu tipo, cobertura ou parede externa, e de zonas, identificando se o ambiente é ou não condicionado.

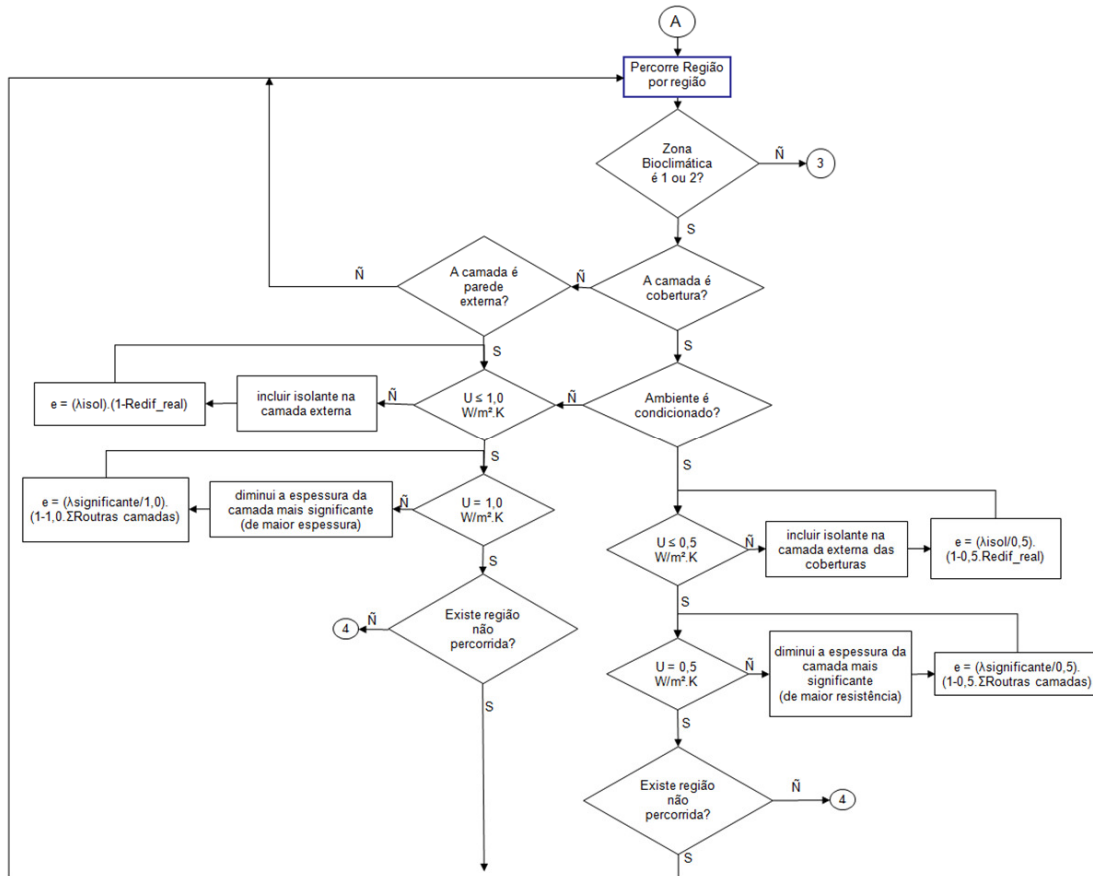


FIGURA 3: Metodologia para o envoltório do projeto referência nível A

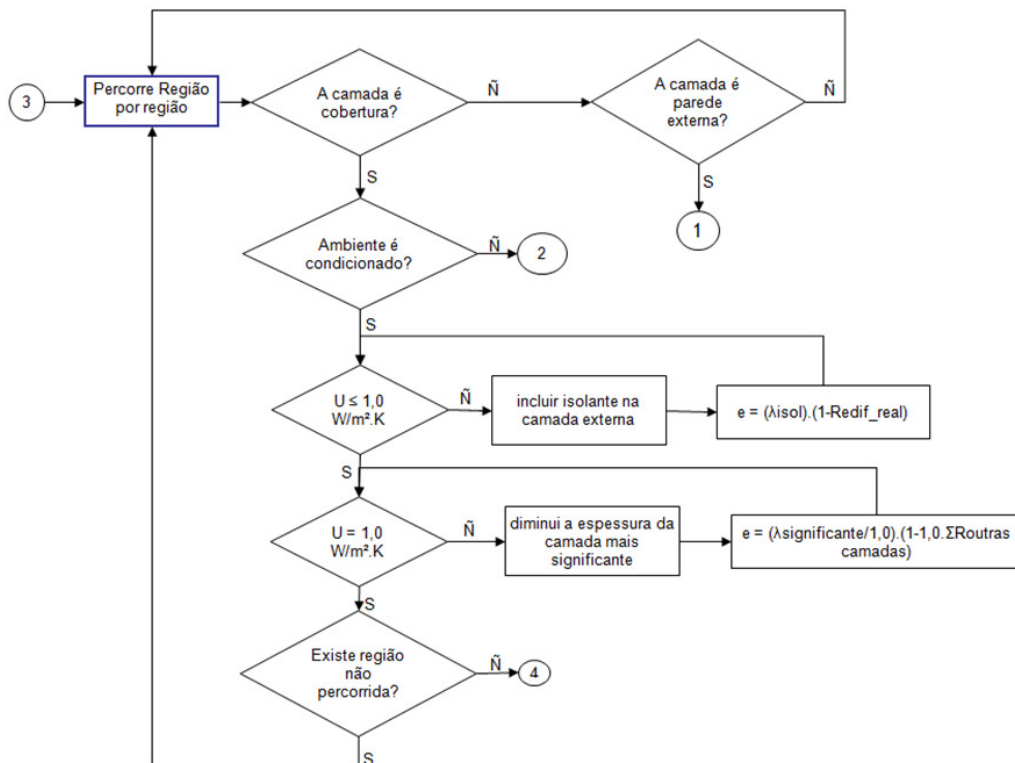


FIGURA 4: Metodologia para o envoltório do projeto referência quando ZB. 1 ou 2.

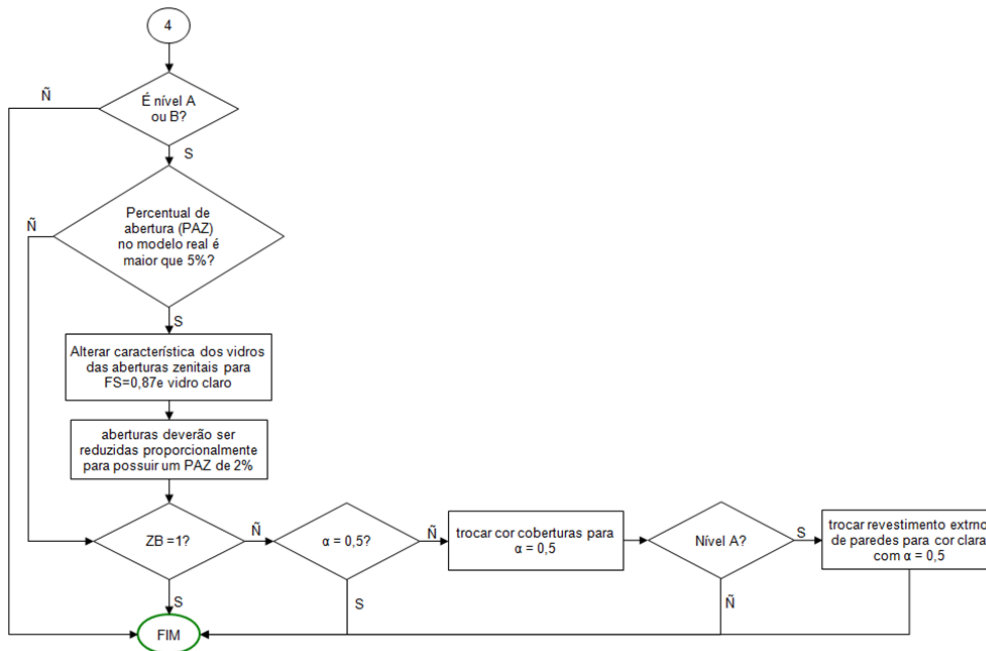


FIGURA 5: Metodologia para alterar as características dos vidros e aberturas zenitais.

Ao final das simulações dos modelos de referência é feita a comparação do consumo de energia obtido em cada nível com o modelo Real. O equivalente numérico de simulação (EqNumS) é então calculado através da interpolação linear entre os consumos calculados nos modelos de referência e o consumo obtido no modelo real. O consumo de energia anual do projeto real deve ser menor ou igual ao consumo anual de energia do modelo de referência construído de acordo com o método prescritivo.

2.1.2. Metodologia do Sistema de Iluminação

A avaliação do sistema de iluminação pode ser realizada através de dois métodos: o método da área do edifício, ou o método das atividades do edifício. Assim que o usuário inicia um novo projeto ele deve estabelecer as principais atividades do edifício e posteriormente, para cada área da edificação, deve ser identificado a sua atividade. Com isso o Domus Eletrobras faz a leitura e identifica o método que deve ser utilizado baseado nas regras estabelecidas no regulamento. Uma rotina computacional busca as informações de DPI limite estabelecidas nas tabelas e as utiliza no modelo de referência de cada nível de eficiência de acordo com a atividade que o usuário determinou para as zonas da edificação. Essa metodologia proposta é demonstrada no fluxograma da FIGURA 6.

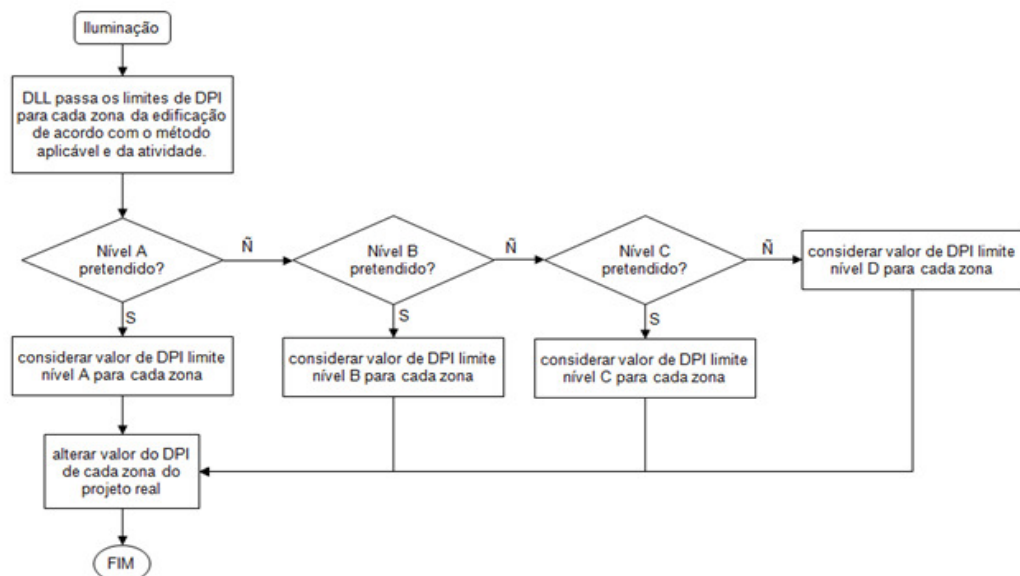


FIGURA 6: Metodologia para a simulação do sistema de Iluminação.

2.1.3. Metodologia do Sistema de Condicionamento de Ar

Para o sistema de condicionamento de ar, a norma estabelece adotar o mesmo sistema proposto no modelo real considerando a eficiência do sistema de acordo com as tabelas do método prescritivo e com o nível de classificação pretendido. Nesse caso, uma rotina semelhante ao sistema de iluminação é empregada. O Domus Eletrobras, através de um arquivo texto em que todos os dados das tabelas do RTQ-C foram incluídos, considera como novo valor de eficiência do sistema de condicionamento de ar o COP (Coeficiente de Performance) limite estabelecido pelo método prescritivo para cada sistema. Isso é possível porque quando o usuário inclui os sistemas de condicionamento de ar, necessariamente tem que definir o tipo do sistema de acordo com uma lista pré-definida que é igual aos sistemas definidos na norma.

No caso em que o sistema de condicionamento de ar é regulamentado pelo Inmetro, seu COP não é alterado e o usuário deve alimentar a biblioteca de ar condicionado com os dados do sistema de condicionamento de ar escolhido. A metodologia proposta é demonstrada no fluxograma da FIGURA 7.

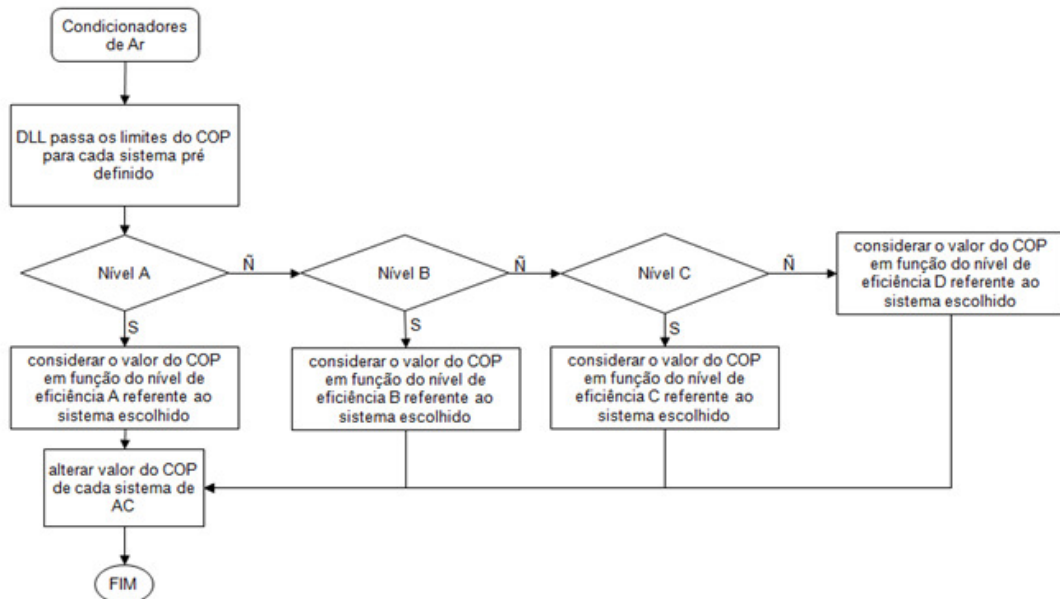


FIGURA 7: Metodologia para a simulação do sistema de condicionamento de ar

2.3 Resultados

Para a análise da metodologia proposta de integração do software Domus ao RTQ-C, passando, com isto, o software a ser denominado Domus Eletrobras, e as comparativas dos métodos, foi escolhido um modelo de planta baseado em uma edificação padrão de escritórios localizados na região de Curitiba – PR, portanto se trata de zona bioclimática igual a 1. O modelo de edificação possui dois pavimentos de dimensões 25m x 15m x 2,7m de área conforme planta detalhada na FIGURA 8.

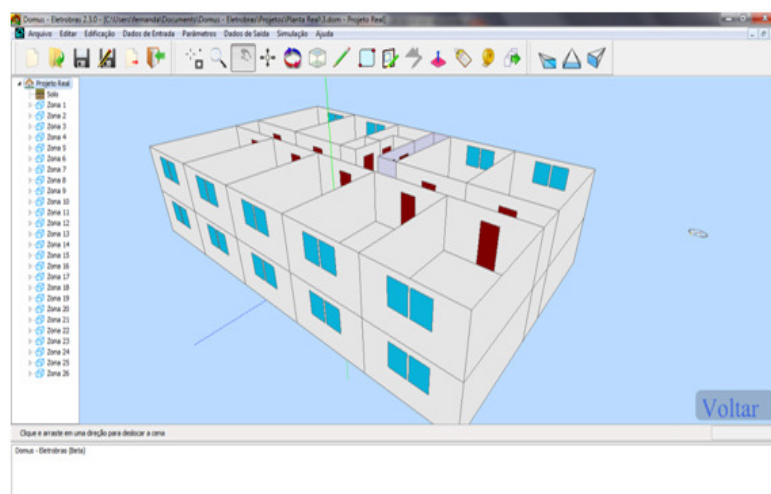


FIGURA 8: Modelo da edificação Detalhado conforme Domus Eletrobras versão 2.3.0.

a. Classificação Segundo Método Prescritivo

Cada parâmetro participante do desempenho energético de uma edificação impacta o consumo de energia de forma distinta. Por isso foi analisado detalhadamente cada sistema seguindo as equações e metodologias apresentadas no regulamento RTQ-C. Além dos requisitos definidos para a classificação energética, pré-requisitos previamente especificados no regulamento também devem ser verificados. Para a edificação escolhida os níveis de transmitância térmica das paredes externas e coberturas atendem os apenas os limites exigidos para nível de eficiência B. A Tabela 2 traz os resultados obtidos para classificação da edificação, segundo o método prescritivo, para os sistemas de envoltória e iluminação. Para o sistema de condicionamento de ar foi utilizado um modelo regulamentado pelo Inmetro com classificação energética nível C.

Tabela 2 – Classificação dos Sistemas Segundo Método Prescritivo

Sistema Envoltória						
ICenv	194,6					
ICmáxD	201,76	Nível	A	B	C	D
ICmín	194,42	IC. Lim Mín	-	196,27	198,1	199,94
i	1,83	IC. Lim Máx	196,26	198,09	199,93	201,76
Sistema Iluminação						
Área ilum.(m²)	750	Nível	A	B	C	D
Pot. Total (W)	7936	Pot. Limite (W)	7275	8400	9450	10575
DPI (W/m²)	10,58	DPI ref. (W/m²)	9,7	11,2	12,6	14,1

Sendo assim, conforme a equação da pontuação final estabelecido no regulamento e os níveis encontrados pelo método prescritivo para cada sistema a pontuação final atingida foi de 4,07 o que representa uma classificação final A. Como os pré-requisitos da envoltória não atendem os níveis de A, apenas de B, a classificação final passa a ser B segundo o método prescritivo.

b. Classificação Segundo Método de Simulação

Com o projeto da edificação escolhida modelada no software Domus Eletrobras e todos os parâmetros inseridos, é iniciado a simulação passando primeiramente pela etapa da criação dos modelos de referência, ver FIGURA 9. Próximo passo é a etapa de simulação do modelo real em que o usuário pode monitorar as temperaturas internas das zonas e seu consumo de energia durante a simulação. Concluída a simulação, automaticamente é aberta a tela de resultados em que se incluem os itens de bonificação que são atendidos para o cálculo do nível de eficiência. A FIGURA 10 mostra a tela do software com o resultado obtido para o método da simulação.

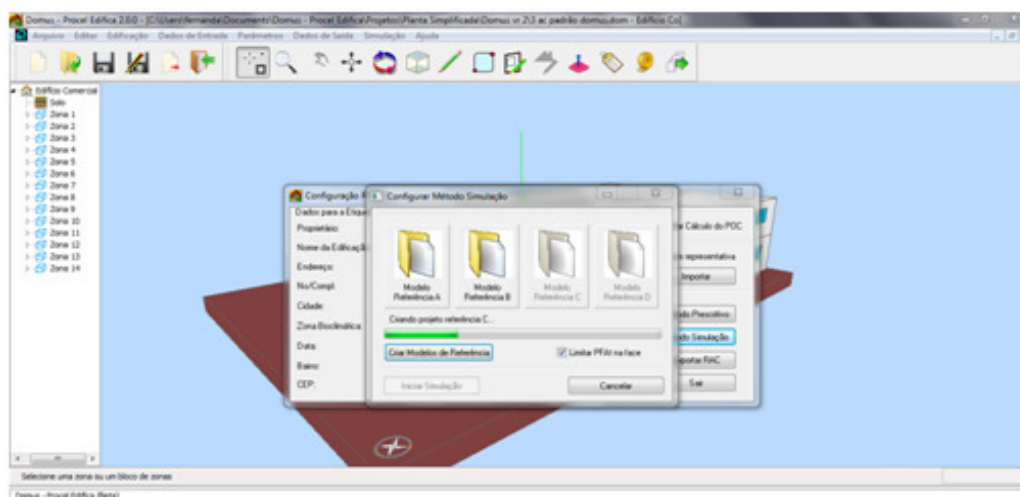


FIGURA 9: Tela de Simulação *Domus-Eletrabras* durante etapa de criação modelos de Referência



FIGURA 10: Resultado Método Simulação

Comparando os resultados do modelo prescritivo e de simulação percebe-se que não existiu diferença, indicando consistência da metodologia empregada para simulação do nível de eficiência energética segundo o RTQ-C utilizando o *software* de simulação *Domus-Elektrobras*.

3.0 - CONCLUSÃO

A contribuição global de edifícios no sentido de consumo de energia, residencial e comercial, tem aumentado significativamente. A cada dia a utilização de ferramentas que facilitem o dia a dia de profissionais se torna cada vez mais comum. Em muitas áreas é comum a aplicação de diferentes softwares nas rotinas de empresas. Com esse intuito foi apresentado, através da utilização de uma tipologia de edificação, a integração entre o software de simulação termo-energética DOMUS e o Regulamento Técnico da Qualidade para Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços, originando o software Domus Elektrobras. Para tal foi analisada o nível de eficiência da edificação segundo os métodos prescritivo e de simulação. Num primeiro momento foi necessário obter a classificação da edificação segundo o método prescritivo para comparação com os resultados alcançados pelo Domus Elektrobras pelo método de simulação e observou-se que os resultados encontrados pelos dois métodos foi o mesmo.

No cenário atual, não só brasileiro, mas a nível mundial, obter uma ferramenta de simulação com uma plataforma simples, de fácil acesso e ainda que seja possível a análise da eficiência energética segundo o RTQ-C, sinaliza ainda mais a disseminação entre os profissionais da área do uso de alternativas eficientes e a busca por otimização das edificações, economia de energia, consciência energética e sustentabilidade. Essa ferramenta só foi possível graças ao incentivo pela Eletrobrás à inserção da metodologia apresentada no antigo software Domus, que passa a se chamar Domus Elektrobras, quando utilizando a DLL que calcula o nível de eficiência energética conforme o RTQ-C.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Resenha mensal do mercado de energia elétrica; RIO DE JANEIRO – Brasil, 2014
- (2) BEN. Balanço Energético Nacional de 2014. https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf
- (3) INMETRO. Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/RTQ-C_372_com_Portaria_Complementar.pdf
- (4) HENSEN, J.; LAMBERTS, R.; NEGRÃO, C. O. R. A view of energy and building performance simulation at the start of the third millennium. *Energy and Buildings*, v. 34, p. 853-855 de 2002.
- (5) FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Energy efficiency of office buildings envelope: discussions around application of prescriptive method of RTQ-C. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 59-69, abr./jun. de 2010.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Fernanda Celupi
Nascida em Curitiba, PR, em 18/12/1981
Aluna de Mestrado em Engenharia Mecânica: PUC-PR
Pontifícia Universidade Católica do Paraná