



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO PBE EDIFICA, APLICADO A UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA¹

TOMAZELLI, Saile (1); RUTSATZ, Hiago (2); JESUS, Luciana (3)

(1) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), sailetomazelli@gmail.com

(2) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), hiagoneumann@hotmail.com

(3) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), luciana.a.jesus@ufes.br

RESUMO

Os edifícios comerciais, públicos e de serviço são responsáveis por uma parcela considerável do consumo da energia elétrica nacional. Verifica-se, assim, a necessidade de implementar medidas, na fase de projeto ou reforma, para aumentar sua eficiência energética. Dentre as medidas para a redução e classificação do consumo elétrico, foi criado o PBE-Edifica, que trata da etiquetagem de eficiência energética na construção civil e que, a partir de 2014, começou a ser obrigatório para edifícios públicos. Assim, faz-se necessária uma análise da viabilidade de práticas que atendam aos requisitos do RTQ-C no Estado do Espírito Santo. Deste modo, utilizou-se como estudo de caso uma edificação pública da cidade de Vitória/ES. Como etapas metodológicas foram definidas: levantamento e coleta de dados, modelagem do estudo de caso, onde se gerou um protótipo computacional do caso real e dos modelos de referência, simulação computacional e análise final com estudos de viabilidade econômica. O edifício foi classificado com nível E pela avaliação dos pré-requisitos e pelos comparativos de consumos energéticos dos modelos. Dessa forma, após o resultado, foram propostas melhorias para obter etiqueta A e analisou-se a viabilidade financeira de implantação, por meio do VPL e payback, que se mostraram viáveis em todos os cenários.

Palavras-chave: PBE-Edifica, Edificação pública, Simulação, Eficiência energética, Viabilidade financeira.

ABSTRACT

Commercial, public, and service buildings are responsible for consuming a substantial sum of the national electrical energy. This said, it is necessary to implement measures in the stages of project or renovation to increase their energy efficiency. Among the measures to reduce and classify the electricity consumption, PBE-Edifica was created, being responsible for the energy efficiency labeling in civil construction and being mandatory in public buildings since 2014. Therefore, it is necessary to analyze the viability of practices that fulfill the requirements of RTQ-C in the State of Espírito Santo. To do so, a public building of the city of Vitória/ES was used as a case study. The methodological stages adopted here are: survey and data collection, modeling of the case study (where a computational prototype of the real case and of the

¹ TOMAZELLI, Saile; RUTSATZ, Hiago; JESUS, Luciana. Análise de viabilidade econômica de medidas de eficiência energética segundo PBE Edifica, aplicado a uma instituição pública. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

reference models was generated), computer simulation, and final analysis with economic viability studies. The building was classified with level E in the prerequisite evaluation and in the comparison of energy consumption of the models. This way, after this result, improvements were proposed to obtain label A, and the financial viability of implementation was analyzed, through NPV and payback, which proved to be viable in all scenarios.

Keywords: PBE-Edifica, Public building, Simulation, Energy efficiency, Financial viability.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 42,8% da demanda energética vem das edificações, sendo 7% só de edificações públicas (BRASIL, 2017), das quais estima-se que cerca de 70% do gasto energético é em função da climatização e iluminação (PROCEL, 2014). A alta demanda de energia elétrica associada a irregularidade do nível pluviométrico que o país vem enfrentando nos últimos anos, compromete a geração de energia, visto que 68,1% da nossa matriz são hidroelétricas (BRASIL, 2017). Essa situação gerou uma crise no setor energético, da qual a saída encontrada foi a redução do consumo.

Nesse sentido, uma das principais medidas do governo foi a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em 1985, com o objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica.

Para o setor da construção civil foi criado o PROCEL-Edifica, que, em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), tem como finalidade a etiquetagem de edifícios quanto a eficiência energética. Como resultado temos, até hoje, mais de 6.000 edificações avaliadas (INMETRO, 2020).

Essa etiquetagem é feita com base nos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética para Edificações Residenciais (RTQ-R) e para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C), além do Requisito para Avaliação da Conformidade (RAC). Tais documentos estão sendo atualizados e serão substituídos pelo INI-R (Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência energética de Edificações Residenciais), e pelo INI-C (Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas). Seguir as recomendações desses documentos pode gerar uma economia de até 50% no gasto energético de edificações em fase de projeto e até 30% para as já construídas que passarem por um processo de reforma (PROCEL, 2014).

Com isso em vista, em 2014, o governo federal criou a Instrução Normativa nº2 para tornar obrigatória a etiquetagem de prédios públicos federais novos ou que passarem por grandes reformas, além de determinar que tais edificações só deverão adquirir equipamentos classe A de eficiência. De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (2011) isso deve se expandir para todas as edificações públicas, incluindo estaduais e municipais, até 2021.

Porém, no estado do Espírito Santo, apenas 2 edificações foram certificadas pelo RTQ-C, uma em 2014 e outra em 2016, de 250 no Brasil, e nenhuma delas é pública (INMETRO, 2020). Também pode-se constatar que existem poucos estudos que avaliam a eficiência energética em edificações públicas do estado. Esse cenário pode estar relacionado à gestão dos edifícios, conhecimento técnico dos agentes públicos sobre o tema e/ou viabilidade de implantação das medidas propostas pelo PROCEL-Edifica nas edificações públicas capixabas.

Nesse contexto, objetiva-se avaliar a viabilidade econômica associada a implantação dos requisitos do RTQ-C em um edifício público estadual de Vitória/ES.

2 MATERIAIS E METÓDOS

Este trabalho foi realizado com base nos dados levantados da edificação, sede do Tribunal de Contas do Estado do Espírito Santo (TCE-ES), em Vitória –ES e localizado na zona bioclimática 8, conforme a NBR15220-3 (ABNT, 2003). Foram coletados, por meio de projetos e visitas, informações sobre a envoltória e os sistemas de iluminação e ar condicionado, de forma a cumprir os pré-requisitos gerais, específicos e bonificações definidos no RTQ-C e RAC. A escolha por esta edificação pública, justificou-se pela disponibilidade de informação, interesse do Órgão público em implementar medidas de eficiência energética, e sua arquitetura peculiar.

Com as informações coletadas, utilizou-se o SketchUp (2018) com o plugin Euclid (0.9.3) para a modelagem tridimensional, e o Energy Plus (8.7.0) para atribuição de dados e simulação energética, em conjunto com o arquivo climático de Vitória disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE - UFSC). Com o auxílio dos softwares, foi criado o modelo real e quatro modelos de referência, baseados na adequação das características do modelo real para que atenda aos níveis A, B, C e D de eficiência, conforme estabelecido no RTQ-C (2010). Dessa forma, foi possível classificar a eficiência energética da edificação por meio da avaliação dos resultados da simulação.

Após a classificação da edificação, foram feitas propostas de melhorias a serem executadas na edificação, tanto nos elementos construtivos como nos equipamentos instalados, de acordo com os materiais disponíveis no mercado. Essas propostas visaram alcançar a etiqueta A no edifício, e foram definidas em 4 diferentes cenários.

Com os cenários de melhoria definidos e constatado que sua aplicação resultará em nível energético A por meio de novas simulações, foram calculados todos os custos associados à obra de implantação das medidas (materiais, mão-de-obra, equipamentos, instalações e manutenções futuras) e foram feitas análises econômicas, determinando o valor investido para adequação, por meio do Valor Presente Líquido (VPL) para um período de 20 anos e qual o tempo necessário para que a economia resultada do melhoramento energético pagará o investimento, por meio do Payback.

3 ESTUDO DE CASO

A edificação selecionada para estudo foi a sede do Tribunal de Contas do Estado do Espírito Santo (TCE-ES), projetado pelo arquiteto Luiz Paulo C. Dessaune, inaugurado em 1991, e localizado em Vitória – ES.

O edifício possui 3 pavimentos, sendo o acesso principal (no segundo pavimento), realizado por rampa, e o primeiro em meio subsolo. A fachada revestida com pintura preta, possui uma área significativa de envidraçados em parte sombreada por uma marquise de concreto. Possui 2 átrios descobertos, com a localização da caixa de escadas e de banheiros. A edificação possui área total de 6.751,05 m², sendo a área total simulada igual a 5.833,40 m², visto que o prédio anexo, referente ao auditório, foi desconsiderado no estudo. Os pavimentos são utilizados para desempenho de diversas atividades, como escritório, que é a principal, recepção, garagem, sala de data center, biblioteca, oficina, vestiário, refeitório, almoxarifado, plenário, entre outros. Dessa forma, as zonas foram definidas de acordo com a ocupação, orientação solar e tipo de material de fechamento como exemplifica a Figura 1.

Figura 1 - Planta baixa setorizada do primeiro pavimento do TCE-ES



Fonte: Adaptado de TCE-ES (2015)

Quanto aos sistemas construtivos, a edificação é composta por bloco sical duplo, salvo no térreo, que é composta por parede de concreto até 1,5 metros de altura. Todas as paredes das salas voltadas aos átrios são divisórias de madeira e vidro (maioria translúcida, salvo alguns com insufilm G5). E o telhado constituída por telha de fibrocimento. As fachadas possuem janelas e aberturas em vidro fumê de 4 mm e insufilm G5 (5% de transparência). O sistema de ar condicionado é composto por equipamentos individuais nos modelos split e janela. Já o sistema de iluminação é composto por lâmpadas fluorescentes com acionamento manual.

Na edificação trabalham cerca de 510 pessoas de segunda a sexta. Destes, 30% trabalham pela manhã, 75% a tarde e apenas os seguranças ocupam o local a noite.

Quanto a energia, tem-se um consumo anual de aproximadamente 1,5 milhão de kWh (inclusive o auditório), o que representa quase 400 mil reais (Ano-base 2017). Já quanto a água, tem-se o consumo de cerca de 400 m³, que representa 70 mil reais (Ano-base 2017). Tais dados foram utilizados para balizar os resultados de simulação e verificar as bonificações de geração de energia e aproveitamento de água de chuva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Classificação da edificação

A simulação do modelo real apresentou um consumo de energia elétrica de 1.233.180 kWh/ano, implicando num consumo médio de 211 kWh/m²/ano. Portanto, a margem de precisão da simulação é de 87% (consumo obtido com a simulação do modelo real comparado ao consumo real da edificação).

Constata-se que o consumo dos equipamentos elétricos foi de 49,73%, enquanto que o sistema de iluminação e de ar condicionado consumiam, respectivamente, 23,10% e 27,18% do gasto elétrico. Dentre as possíveis causas para tal fato, deve-se a presença de um Data Center no prédio (responsável por 9,29% do consumo anual). Na Tabela 1 a seguir temos um resumo do consumo elétrico, em kWh/ano, comparando o modelo real com os modelos de referência.

Tabela 1 - Consumos elétricos anuais (kWh/ano e kWh/m²/ano) por nível e classificação do modelo real

Nível	Modelo Real	A	B	C	D
Valor Máximo	1.233.180	995.710	1.098.007	1.171.228	1.263.834
KWh/m ²	211	169	187	199	215

Fonte: Autores (2018)

Dessa forma, podemos constatar que o consumo da edificação real ficou entre os níveis C e D, logo, pode-se afirmar que a edificação possui Nível D de eficiência pelo comparativo de consumo. Porém, devido ao não atendimento de pré-requisito de isolamento das tubulações de ar condicionado, a edificação foi classificada como Nível E.

4.2 Estratégias para obtenção da Etiqueta A

Para o pré-requisito de transmitância térmica das paredes externas foram propostas alternativas para todas as superfícies que não atendiam ao limite estabelecido pelo RTQ-C, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Propostas de substituição das superfícies que não atendem ao pré-requisito de transmitância (W/m²K)

Superfícies	Transmitância	Transmitância Nível A	Propostas	Transmitância Proposta
Parede de concreto	4,066	3,7	Adição de camada de 2 cm de gesso	3,497
Divisória de madeira	2,860	2,5	Drywall	0,560
			Termowall	0,869
Divisória de mad. e vidro	2,929	2,5	Colagem de placa de madeira 10 mm	2,451
Cobertura de fibrocimento, laje e gesso	1,546	1,0	Telha termo acústica	0,556
Cobertura Impermeabilizada	3,971	2,0	Adição de camada de poliestireno	1,108

Fonte: Autores (2019)

Para atender ao pré-requisito de absorvância térmica foi proposta a pintura da cobertura, paredes voltadas ao átrio e fachada em branco, assim como em diversos tribunais de conta pelo Brasil, e das torres de escada em azul bali. Já para os pré-requisitos de iluminação foi proposta a elaboração e execução de um projeto do sistema de iluminação prevendo a divisão dos circuitos por ambiente, a contribuição de luz natural e o desligamento automático do sistema de iluminação para as garagens (área maior que 250 m²). Além disso, foi proposta a troca de todas as lâmpadas fluorescentes de 20W e 86 W por LED de 9 W e 18 W, respectivamente, visto que também é uma medida que será implantada pelo próprio TCE-ES.

Para o pré-requisito de ar condicionado foi proposta a utilização de isolamento das tubulações com espessura de 1,5 cm, ou que atendesse os limites do RTQ-C caso houvesse a troca do diâmetro da tubulação ou do material isolante. Além da troca dos aparelhos nível B para nível A.

Para as bonificações foram propostas apenas medidas já previstas para a edificação. Como o sistema de captação de água de chuva, que vai utilizar ¼ da cobertura para captar água e previsão de armazenamento de 15 mil litros. Também foi proposto a instalação de painéis fotovoltaicos para a geração de energia. No estudo foram avaliadas 2 propostas, uma com 400 painéis de 325 W (PPF1), utilizando apenas parte da cobertura, e outra com 844 painéis de 325 W (PPF2), utilizando toda a área da cobertura que possui irradiação adequada para a instalação. A partir dessas propostas, foram definidos 4 cenários diferentes, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Definição dos cenários

		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
ENVOLTÓRIA	Parede externa	Parede de concreto com camada de gesso			
		Termowall		Drywall com lã de rocha	
	Cobertura	Divisória de madeira 20 mm com vidro			
		Termo acústica			
		Impermeabilizada com camada de poliestireno			
Cores	Branco Azul bali	Atuais	Branco Azul bali	Atuais	
ILUMINAÇÃO		Lâmpadas LED 9 W e 18 W			
AR CONDICIONADO		Aparelhos nível A			
BONIFICAÇÃO		Captação de água da chuva			
		Painéis fotovoltaicos			

Fonte: Autores (2019)

A partir dessa definição, foram avaliados os cenários e as bonificações. O sistema de captação de água da chuva proposto tem capacidade de captar cerca de 550 m³ por ano, o que representa 10% do consumo e resulta numa bonificação equivalente de 0,25.

Para o sistema de painéis fotovoltaicos PPF1 teve-se a geração de cerca de 190 mil kWh por ano, o que representa 12% do consumo e gerou 1 ponto. Já a PPF2, tem uma geração de quase 400 mil kWh por ano, o que representa 25% do consumo, no entanto, na bonificação, gerou-se a mesma pontuação (1 ponto).

Também se avaliou os cenários e comprovou-se, por meio da comparação do consumo anual do modelo de referência A, que todos os cenários propostos seriam A, portanto possuem consumo menor que 995 mil kWh/ano, como mostra a Tabela 4.

 Tabela 4 - Consumo elétrico dos cenários em (kWh/ano e kWh/m²/ano)

Modelo de Referência A	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
995.710	929.345	932.184	932.048	934.841
171	159	160	160	160

Fonte: Autores (2018)

Todos os cenários apresentaram potencial para ser A, porém os cenários 2 e 4, que mantiveram as cores atuais da edificação, não atenderam ao pré-requisito de absorvância e foram rebaixados para o nível B, que gera um equivalente 4. Dessa forma, somado 1 ponto da bonificação, temos uma pontuação final igual a 5, o que resulta na classificação A para esses cenários.

4.3 Análise econômica dos resultados

Para a análise econômica das propostas, foi primeiramente determinado o investimento inicial de cada cenário, como pode-se verificar na Tabela 5.

Tabela 5 - Investimento inicial por cenário

	Cenários + PPF1	Cenários + PPF2
Cenário 1	R\$ 3.245.376,09	R\$ 3.883.861,17
Cenário 2	R\$ 3.161.183,32	R\$ 3.799.668,40
Cenário 3	R\$ 3.190.064,64	R\$ 3.828.549,72
Cenário 4	R\$ 3.105.871,86	R\$ 3.744.356,94

Fonte: Autores (2018)

Depois foram calculadas as economias de energia e água dos cenários e bonificações, comparando o consumo de cada cenário com o consumo atual, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Economia de energia por cenário

	Economia (kWh/ano)	Economia (R\$)
CENÁRIOS	Cenário 1	303.835,00
	Cenário 2	300.996,18
	Cenário 3	301.132,59
	Cenário 4	298.338,97
BONIFICAÇÕES	PPF1	189.204,28
	PPF2	397.402,45
	Captação	556,88 m ³ /ano

Fonte: Autores (2018)

A partir disso foi feita a análise financeira para um período de 20 anos, com taxa mínima de atratividade (TMA) de 5,41% ao ano, para acompanhar o valor da inflação. O resultado foi positivo em todos os cenários, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo da análise financeira

	Cenários + PPF1		Cenários + PPF2	
	VPL	Payback	VPL	Payback
Cenário 1	R\$ 1.626.901,35	12,0 anos	R\$ 2.874.518,03	11,0 anos
Cenário 2	R\$ 1.683.174,65	11,9 anos	R\$ 2.930.791,33	10,9 anos
Cenário 3	R\$ 1.655.634,91	11,9 anos	R\$ 2.903.251,59	10,9 anos
Cenário 4	R\$ 1.712.352,75	11,8 anos	R\$ 2.959.969,43	10,8 anos

Fonte: Autores (2018)

Com essa análise, podemos concluir que qualquer um dos cenários estudados foi considerado viável. Além disso, pode-se verificar que a implantação da PPF2 gerou um VPL 43% maior que a PPF1, ou seja, teve-se um ganho econômico de cerca de 1,2 milhão de reais a mais.

5 CONCLUSÕES

A simulação indicou um nível D de eficiência para a edificação, mas foi rebaixada devido ao não cumprimento de um pré-requisito do sistema de ar condicionado. Para alcançar A, foram necessárias realizar adequações aos sistemas estudados, desde uma simples camada de gesso nas paredes até a troca da cobertura e divisórias voltadas ao átrio da edificação. Apenas a adequação da edificação para o Nível A potencializou uma economia de até 25% de seu gasto de energia elétrica, sem considerar as bonificações. Em conjunto com o sistema fotovoltaico, que gerou aproximadamente 26% da demanda do edifício, foi possível reduzir em torno de 50% do valor da conta de energia elétrica.

O PROCEL aponta que, em prédios públicos, o consumo de energia devido a iluminação e ar condicionado representa cerca de 70% do total (PROCEL, 2014). Nesse estudo pode-se evidenciar que em alguns casos os equipamentos instalados, como quando há data centers, a porcentagem consumida por equipamentos elétricos aumenta, como nesse caso, consumindo aproximadamente 50% da energia gasta. Dessa forma, verifica-se a necessidade de maiores estudos nas análises de eficiência nessa categoria, visando o uso de equipamentos mais eficientes. Apesar de obter resultados satisfatórios com a aplicação do método de simulação do RTQ-C, o regulamento ainda é carente em definir parâmetros para análise de edifícios horizontalizados e que possuem átrio. O método também não demonstra clareza ao trabalhar com passos utilizados pelo método prescritivo na simulação, gerando margem para interpretações equivocadas, principalmente nos estudos de envoltória. Ressalta-se que os regulamentos estão sendo atualizados (INI-C) e espera-se que esclareça seus conceitos e processos.

Contudo, pode-se constatar que, embora o Espírito Santo não possua edificações públicas certificadas, é possível a implementação de práticas que contribuam para a eficiência energética, por meio de reformas e retrofit, com bom desempenho energético e resultados financeiros positivos.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional - Relatório Síntese - ano base 2016**. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Portaria 372, de 17 de Setembro de 2010**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa nº02, de 04 de Junho de 2014**. Brasília, 04 Junho 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas**. Brasília, p. 156. 2011.

INMETRO. **Tabelas de consumo/eficiência energética**. INMETRO, 2020. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/edificacoes.asp>. Acesso em: 27 de maio de 2020.

PROCEL. **Edificações**. PROCEL INFO, 2014. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BD3C90184-7BCF-454B-A22E-31B8F2E1EE3C%7D&Team=¶ms=itemID=%7BC28C2387-3172-4D9F-B769-EB386F0961E5%7D;LumisAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2->