

COBERTURAS DE COR BRANCA COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE ENERGIA E DE EMISSÕES DE CARBONO

Gisele Auxiliadora Almeida Rios. E-mail: gikarios@yahoo.com
Luciane Cleonice Durante. E-mail: luciane.durante@hotmail.com
Ivan Julio Apolônio Callejas. E-mail: ivancallejas1973@gmail.com
Karyna de Andrade Carvalho Rosseti. E-mail: karyna.rosseti@gmail.com

Resumo: O consumo de energia elétrica e as condições ambientais internas das edificações relacionam-se diretamente com a envoltória das mesmas. Esta pesquisa tem por objetivo quantificar a redução do consumo de energia elétrica e as emissões de carbono proporcionadas pela pintura da cobertura de uma Habitação de Interesse Social (HIS) com a cor branca, como estratégia para a Zona 7 do zoneamento bioclimático brasileiro. Realizaram-se simulações computacionais para a edificação conforme construída (HISbase) e para aquela com pintura branca na cobertura (HIS1). Os resultados demonstraram que, na condição de ventilação natural, as temperaturas internas mensais médias foram de 28,62°C (HISbase) e 27,76°C (HIS1) e, que na condição de condicionada artificialmente, os consumos de energia elétrica de referência mensais foram de 162,21kWh (HISbase) e 153,41kWh (HIS1), respectivamente. A redução de 1°C na temperatura interna entre os modelos resultou em economia de 10,85kWh/mês (7,1%), sendo a Relação Custo-Benefício (RCB) para implementação da pintura da cobertura na cor branca de 0,38. No conjunto habitacional, composto por 472 unidades, a economia anual foi de 49.819,60kWh/ano e ao considerar que a relação de emissão de CO₂ é de 0,137kg.CO₂/kWh na geração de energia no Brasil, foi evitada a emissão de 6825kg/ano de CO₂ na atmosfera, o que equivale à neutralização processada por cerca de 975 unidades arbóreas/ano. Diante dos resultados, conclui-se pela viabilidade dessa intervenção para redução do consumo de energia e emissão de CO₂.

Palavras-chave: Eficiência energética, EnergyPlus, Edificações residenciais, Emissões de carbono.

WHITE ROOFS AS STRATEGY FOR REDUCING ENERGY CONSUMPTION AND CARBON EMISSIONS

Abstract: Electricity consumption and internal environmental conditions of buildings relate directly to their envelope. This research aims to estimate the reduction in energy consumption and carbon emissions provided by the adoption of bioclimatic strategy (white painting on the rooftop) in a social housing complex composed by 472 individual units, located in zone bioclimatic ZB07. Computer simulations were performed adopting two models: as built (HISbase) and with white painting on the rooftop (HIS1). The results showed that, considering the edification naturally ventilated, monthly internal temperature was 28.62°C (HISbase) and 27.76°C (HIS1) and, when it was conditioned artificially conditioned, the mean electric power consumption per month were 162.21kWh (HISbase) and 153.41kWh (HIS1). The reduction of 1°C in internal temperature among HISbase and HIS1, resulted in saving 10.85kWh/month (7.1%) and the Cost-Benefit Ratio to implement the bioclimatic strategy of white painting on the rooftop was 0.38. In social housing complex, the annual savings was 49.819,60 kWh/year and considering that the CO₂ emission ratio of 0,137kg.CO₂/kWh in the Brazil's power generation, it was avoided the emission of 6825kg/year of CO₂ in the atmosphere, which is equivalent the neutralization process of about 975 tree units/year. We conclude the feasibility of this intervention to reduce energy consumption and CO₂ emissions.

Keywords: Energy efficiency, EnergyPlus, Residential buildings. CO₂ emissions.

1. INTRODUÇÃO

Políticas públicas com foco em eficiência energética de edificações, além de oferecer benefícios financeiros, também proporcionam benefícios ambientais, tornando-as mais favoráveis quanto aos aspectos de habitabilidade, garantindo o mínimo de conforto e sustentabilidade aos empreendimentos. Nesse contexto, no Brasil foram adotadas várias iniciativas, dentre as quais se destacam o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações (PROCEL-Edifica), Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) e o Programa de Eficiência Energética (PEE).

O PROCEL-Edifica foi lançado em 2003 pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e estabelece as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia de edificações no Brasil por meio de ações, dentre as quais, ressaltam-se o fomento a pesquisas e a implementação de etiquetagem em edificações (BRASIL, 2011a, 2011b). Este Programa estabelece, em sua vertente Habitações e Eficiência Energética, os objetivos de (i) fomentar estudos, pesquisas e ações para promover melhoria dos prédios e habitações, principalmente às de baixa renda e (ii) implementar a etiquetagem das edificações residenciais viabilizadas por meio de programas habitacionais governamentais.

O PNEf salienta, em suas diretrizes e premissas básicas, a necessidade de promoção de integração entre as políticas habitacional e energética para edificações, bem como, a importância do estímulo à inserção de conceitos de eficiência energética em edificações nos projetos de interesse social financiados por agentes dos governos federal, estaduais e municipais (BRASIL, 2011a).

Já o Programa de Eficiência Energética (PEE) das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica estabelece que as distribuidoras devem investir o montante equivalente a 0,5% da sua Receita Operacional Líquida em ações de Eficiência Energética, sendo que pelo menos 60% deste valor deve ser direcionado para unidades consumidoras residenciais de baixa renda (BRASIL, 2010).

Constata-se que as três iniciativas enquadram a questão da eficiência energética das habitações de interesse social viabilizadas por agentes governamentais, estando em consonância com o que preconiza o Ministério das Cidades que, em sua publicação Caderno 9 – Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social (BRASIL, 2005), afirma: “é importante que os programas de habitação social no Brasil estejam preparados para aproveitar o conjunto de recursos ambientais existentes, de forma a reduzir o consumo de energia e garantir o conforto ambiental nessas edificações, tendo em vista seus efeitos diretos sobre a saúde e a produtividade dos moradores [...]”.

O governo brasileiro estabeleceu, ainda, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), em janeiro de 2012, com parâmetros e métodos para a classificação do nível de eficiência de edifícios residenciais com vistas ao fornecimento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), sendo que a aplicação é de forma voluntária (INMETRO, 2012).

Considerando que o consumo de energia elétrica é composto pelos consumos base e variável, sendo este último, sensível às variações climáticas e equivalente a 20% do total da carga energética em residências, justifica-se pensar em estratégias bioclimáticas como instrumento de melhoria de eficiência energética de edificações, inclusive no âmbito do PEE (SAILOR e VASIREDDY, 2006).

Entende-se por estratégias bioclimáticas, as medidas em prol da eficiência energética, do conforto ambiental e do uso racional da água, destacando-se: orientação dos edifícios em relação à radiação solar, forma arquitetônica de acordo com os princípios da adequação da arquitetura ao clima, uso apropriado dos materiais de acordo com as condições climáticas, proporção das áreas envidraçadas de fachada (minimizar os ganhos térmicos e maximizar o aproveitamento da luz natural), aproveitamento de ventilação natural e luz natural e uso racional da água (incluindo-se o seu reaproveitamento) (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997). Estes mesmos autores afirmam que, um edifício é mais eficiente que o outro quando proporciona as mesmas condições ambientais, com menor consumo de energia. A eficiência energética de um edifício está relacionada com a adequação ao clima do local onde o mesmo se insere, o que significa adotar adequadamente estratégias bioclimáticas com vistas não só

reduzir o consumo energético, mas também possa contribuir em termos ambientais, como por exemplo, por meio da redução das emissões de carbono na atmosfera.

A aplicação das estratégias da arquitetura bioclimática em projetos de HIS é limitada pelos recursos financeiros, o que corrobora com a produção de habitações praticamente idênticas em um país de regiões de climas diversificados e, conseqüente, resultando em baixo desempenho relativo à parcela do consumo de energia variável nestas edificações.

Nesse sentido, o estudo realizado por Damé (2008) afirmou que o Programa de Arrendamento Residencial (PAR) assume uma grave característica, comum aos programas de provimento habitacional: a produção em larga escala que estimula a repetição desenfreada de tipologias e tipos. Aponta a massificação na produção de moradias, desconsiderando aspectos importantes como as características do clima, bem como as técnicas e os materiais adequados às realidades dos locais. Vieira et al. (2008) verificaram que, nas habitações construídas pelo PAR, existe pouca preocupação com habitabilidade, sendo que as pessoas que adentram essas moradias, não possuem outras alternativas para aquisição da casa própria.

O conforto térmico de habitação de interesse social em Macaíba-RN foi tema de estudo de Monteiro, Veloso e Pedrini (2012), sendo verificado que as amarras impostas ao custo total e à área construída do projeto da unidade habitacional do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) não contribuem para a busca de melhores soluções, resultando em produtos praticamente idênticos em um país de regiões de climas diversificados.

Uma das possíveis estratégias bioclimáticas refere-se à utilização de componentes da envoltória adequados ao clima no qual a edificação se insere. Nesse contexto, Mazzaferro, Silva e Ghisi (2014) estudaram a influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares e afirmaram que a envoltória do edifício é responsável pelos fluxos de calor entre os ambientes internos e externos. Por isso, a composição de seus materiais exerce uma forte influência no desempenho térmico da edificação. Este tema também foi estudado por Miranda (2011) que, por meio de simulações computacionais, avaliou o desempenho térmico das residências do PAR, evidenciando a importância da cobertura no desempenho termoenergético das edificações. Para as tipologias estudadas na cidade de Cuiabá/MT, local da pesquisa, os fatores de transmitância e absorvância das coberturas têm influência significativa na energia consumida por condicionadores de ar. O uso de cores claras (baixa absorvância solar) na cobertura é uma forma mais eficaz de redução do consumo de energia, quando comparada às proporcionadas pela redução da transmitância e pela ventilação do ático.

Buges et al. (2014) realizou análise experimental do desempenho do envelope de uma habitação unifamiliar adaptada em um contêiner, demonstrando que a residência avaliada é mais viável para regiões quentes e úmidas (onde a eficiência energética da edificação recebe menor influência da capacidade térmica dos componentes construtivos), desde que sejam atendidas as necessidades de aberturas sombreadas. Os autores recomendam a realização da avaliação pelo método de simulação, pois a mesma considera a localização da edificação, enquanto o método prescritivo estabelece uma equação genérica para cada zona bioclimática.

Diante disso, evidencia-se a importância das características construtivas no desempenho térmico e, conseqüentemente, no consumo de energia elétrica do setor residencial, que em 2013, representou 9,3% do consumo nacional e apresentou crescimento de 4,5% em relação ao ano base de 2013 (EPE, 2015), influenciado pelo aumento do poder aquisitivo devido à estabilidade econômica do país e implantação de novos conjuntos habitacionais, dentre outros aspectos.

Destaca-se que o consumo nacional de energia elétrica é suprido principalmente por meio de geração hidráulica, responsável por 71% da energia gerada no Brasil, em 2014 (EPE, 2014). Esta geração possui forte relação de dependência com os índices pluviométricos e níveis de armazenamento de água nos reservatórios. Quando estes níveis apresentam-se baixos, há a necessidade de incremento de geração pelas usinas termelétricas, economizando-se a água nos reservatórios, o que onera o custo da geração. Considerando o acima exposto, a ANEEL no ano de 2015 estabeleceu o Sistema de Bandeiras Tarifárias, que por meio do acionamento de três bandeiras: verde, amarela e vermelha, referentes às condições mais ou menos favoráveis (custosas) de geração, em virtude da crise hídrica (ANEEL, 2014a).

Considerando-se a sustentabilidade da matriz energética brasileira, os dados associados às emissões antrópicas indicaram que o setor elétrico brasileiro tem a emissão de carbono de 137 kg de CO₂ para produzir 1 MWh, em virtude do aumento da geração térmica como forma de complementação da hidráulica, sendo este índice considerado baixo quando comparado com os internacionais, como o caso dos setores elétricos americano e chinês que emitem, respectivamente, seis e nove vezes mais que o brasileiro (EPE, 2015).

Diante disso, este estudo teve por objetivo estimar a redução do consumo de energia elétrica e as emissões de carbono proporcionado pela pintura da cobertura com cor branca, em Habitação de Interesse Social (HIS), como estratégia bioclimática para a Zona Bioclimática ZB07. Os objetivos específicos foram (i) identificar a correlação entre temperatura interna e consumo de energia elétrica e (ii) quantificar a Relação Custo-Benefício para implementação da referida estratégia em todo o conjunto habitacional composto de 472 unidades.

2. MATERIAIS E MÉTODO

A pesquisa tem caráter quantitativo e as etapas metodológicas foram percorridas: escolha da HIS objeto de estudo com identificação das propriedades termofísicas de suas vedações conforme construída; calibração e validação do modelo computacional; avaliação do desempenho termoenergético da HIS com e sem a intervenção de pintura da cobertura proposta, bem como a avaliação econômica e ambiental desta intervenção.

1.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo consiste de uma Habitação de Interesse Social (HIS) do tipo unifamiliar (Figura 1), cuja área é de 39,57m², contendo sala-cozinha, dois quartos e banheiro (Figura 2). A habitação localiza-se em um conjunto habitacional do Programa Minha Casa Minha Vida, em Cuiabá/MT, situada na Zona Bioclimática 7 (ZB7) segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005).



Figura 1 - Objeto de estudo

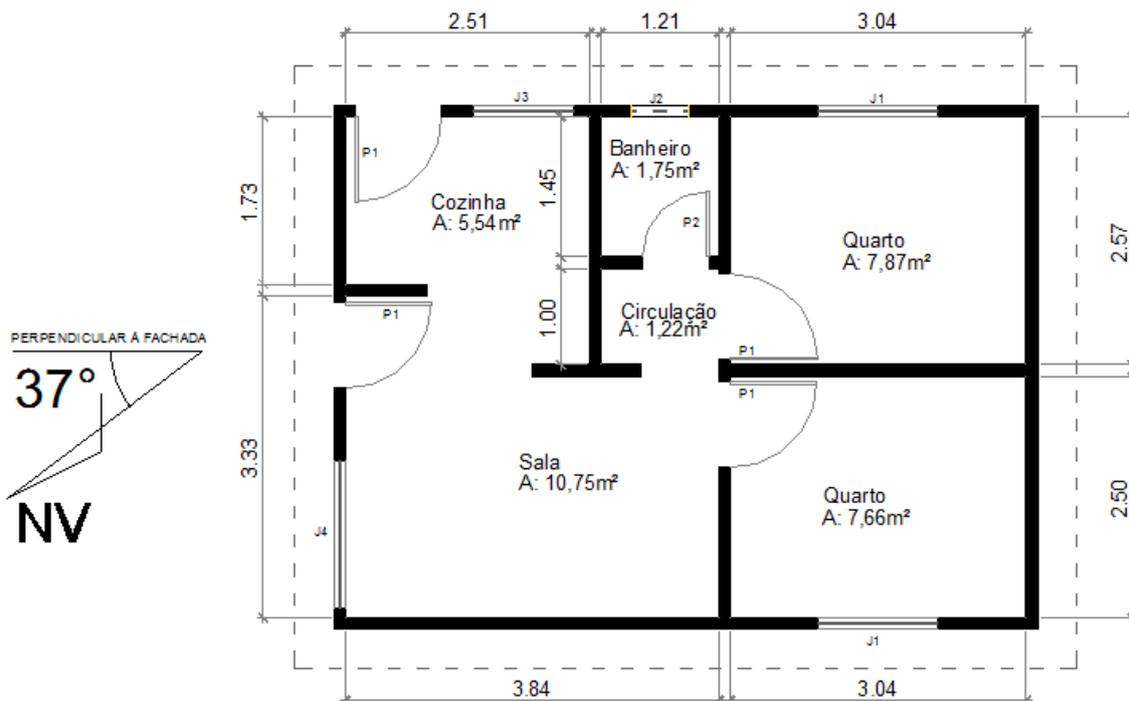


Figura 2 - Planta baixa do objeto de estudo

A edificação possui paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos de oito furos com 9cm de espessura, revestida interna e externamente com argamassa de 2cm de espessura, pintada na cor bege (Figura 3). A cobertura é em telhas de barro na cor natural e forro de PVC branco (Figura 4) e a tipologias e dimensões das esquadrias constam da Tabela 1.

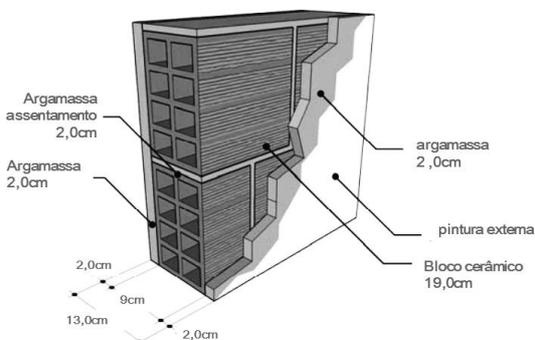


Figura 2 - Sistema de Vedação Vertical Externa
Fonte: Adaptado de Labeee (2011a)

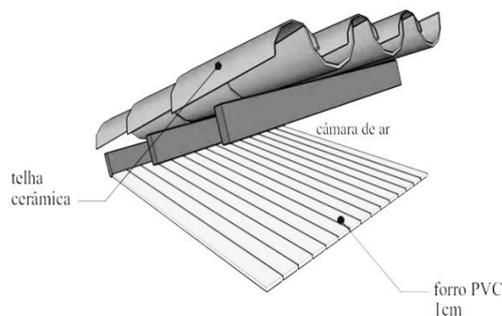


Figura 3 - Sistema de Cobertura
Fonte: Adaptado de Labeee (2011a).

Tabela 1 – Esquadrias da habitação estudada

Ambiente	Dimensões (m)	Tipo
Sala	1,50 x 1,00	Janela veneziana metálica de correr com quatro folhas (duas fixas e duas móveis)
Quarto 1	1,20 x 1,00	
Quarto 2	1,20 x 1,00	
Cozinha	1,00 X 1,00	Janela de vidro tipo basculante

A HIS com as características acima descritas foi denominada “HISbase” e adotada como modelo de referencia para comparação da temperatura interna e do consumo de energia após

ser implementada a pintura da face externa das telhas com a cor branca, modelo este denominado “HIS1”.

1.2. Calibração e validação do modelo computacional

O modelo computacional foi devidamente calibrado para garantir a fidedignidade do estudo, tendo sido realizadas as seguintes subetapas:

a) Medições das variáveis ambientais no modelo de referência: em campo, mediu-se a temperatura de bulbo seco, interna e externamente à edificação construída, seguindo as recomendações da ISO 7726 (ISO, 1998), utilizando-se registradores automáticos HOBO U12-012, devidamente calibrados entre si. Foram monitorados os ambientes da Sala-Cozinha, Quarto 1 e Quarto 2 da edificação, sem ocupação, iluminação artificial, equipamentos elétricos e condicionamento de ar artificial, com esquadrias externas fechadas e portas internas abertas (ventilação por frestas).

b) Elaboração do modelo de referência (HISbase): utilizando-se o “plug in” Open Studio no software Sketchup e o software EnergyPlus (ENERGYPLUS, 2013) nas mesmas condições da medição *in loco*, foi realizada simulação computacional da temperatura interna dos ambientes da edificação. Para tanto, os dados climáticos do arquivo climático (.epw) de Cuiabá, utilizado no software EnergyPlus, foram tratados inserindo-se os valores horários da temperatura externa médias do ar medidas em campo, bem como, foram corrigidas as temperaturas médias mensais do solo por meio programa Slab (LABEEE, 2011b).

c) Comparação entre as temperaturas de bulbo seco medidas e simuladas: por meio do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (R_2), conforme Costa (2005), foram obtidos valores de 0,95, 0,81 e 0,85 para os ambientes Sala-Cozinha, Quarto 1 e Quarto 2, respectivamente. Considerando-se que os mesmos foram superiores a 0,75, constatou-se que a correlação entre os dois grupos de dados (medidos e simulados) é positiva e forte, indicando a confiabilidade no modelo calibrado, possibilitando sua utilização nas demais simulações, de forma a alcançar os objetivos deste estudo.

d) Elaboração do modelo com a intervenção da pintura na cobertura (HIS1): assumindo o modelo como calibrado e válido, a mesma geometria da HISbase foi inserida em arquivo do EnergyPlus, alterando-se apenas as propriedades termofísicas da absorvância e da transmitância térmica da cobertura (Tabela 2) para definir o modelo HIS1.

Tabela 2 - Propriedades térmicas das paredes e das coberturas da habitação estudada

Vedações	Modelos	Absortância (α , adimensional)	Transmitância Térmica (U em W/m ² K)
Paredes	HISbase	0,3	2,55
	HIS1	0,3	2,55
Cobertura	HISbase	0,8	1,75
	HIS1	0,2	1,18

1.3 Avaliação do desempenho termoenergético dos modelos HISbase e HIS1

As simulações computacionais foram realizadas adotando-se os parâmetros definidos no RTQ-R (INMETRO, 2012), considerando duas condições distintas de uso: naturalmente ventilada e condicionada artificialmente nos ambientes dos dormitórios no período noturno. O arquivo climático epw de Cuiabá foi utilizado nas simulações.

Na condição naturalmente ventilada adotou-se a estratégia de ventilação controlada automaticamente durante as 24 horas diárias, por meio do critério de temperatura estabelecido pelo RTQ-R, sendo que a abertura de portas e janelas é acionada quando as seguintes

condições forem atendidas: temperatura interna do ambiente é maior que a temperatura externa e temperatura interna do ambiente é maior que a temperatura de controle (20°C).

Na condição condicionada artificialmente considerou-se, conforme estabelecido no RTQ-R, a utilização do condicionador de ar (COP 3 W/W) operando nos dois quartos, no período das 21 às 8h, mantendo-se a temperatura de 24°C. No período restante, considerou-se a edificação naturalmente ventilada, com a estratégia de ventilação controlada automaticamente por meio do critério de temperatura, com termostato programado na temperatura de controle.

Realizou-se pesquisa de campo no conjunto habitacional com o objetivo de constatar a quantidade de aparelhos condicionadores de ar foram instalados nas 472 habitações que o compõem. Constatou-se que 20% das unidades habitacionais possuíam, pelo menos, um condicionador de ar, e observando esta tendência crescente de utilização do sistema de condicionamento, adotou-se como opção teórica de análise, o critério de utilização de dois condicionadores de ar (um em cada quarto).

O RTQ-R estabelece ainda os seguintes parâmetros, que foram adotados para ambas as condições de simulação: (i) padrão de ocupação de quatro pessoas no total (sendo duas pessoas por dormitório, e todas utilizando o ambiente da Sala-Cozinha), seguindo a rotina horária (diferenciada para dias de semana e finais de semana), (ii) densidade de potência instalada de iluminação igual a 5 e 6W/m² para os ambientes Dormitório e Sala-Cozinha, respectivamente, e (iii) carga interna dos equipamentos igual a 1,5W/m² para a Sala-Cozinha durante as 24h do dia.

Como resultados das simulações, nas condições naturalmente ventilada e condicionada artificialmente, de cada modelo (HISbase e HIS1), foram obtidos os valores da temperatura interna média mensal (por meio da média de doze meses) (TM) das habitações, bem como, os consumos de energia elétrica de referência mensal (por meio da média dos consumos mensais) (CM), respectivamente.

As variáveis da temperatura média (TM) e do consumo de referência mensal (CM) foram avaliados comparativamente, permitindo a verificação do comportamento das mesmas para os dois modelos, no ciclo de um ano. Desta forma, TM e CM da HISbase foram comparadas com as mesmas variáveis da HIS1, sendo calculadas (i) as variações de temperatura interna média mensal (TM) e do consumo mensal de referência (CM), (ii) a equação linear e o coeficiente de correlação entre essas variações, e (iii) a variação de CM para a redução de um grau de TM.

1.4. Avaliação Econômica e Ambiental

Os valores de referência do consumo de energia elétrica e da demanda de potência, resultantes das simulações computacionais dos modelos estudados HISbase e HIS1, foram utilizados para a avaliação de Relação do Custo-Benefício (RCB), considerando-se os custos para implementação pintura das telhas com cor branca e os benefícios em termos de economia de energia e redução de demanda, em função da referida intervenção.

O método utilizado para a avaliação da RCB é o adotado pela ANEEL para a avaliação de projetos de eficiência energética (EE) no âmbito do Programa de Eficiência Energética (PEE) das concessionárias de distribuição de energia elétrica. Em suas diretrizes, permite uma avaliação ex ante, que conta com valores estimados na fase de definição, quando se avaliam o custo e benefício baseado em análises de campo, experiências anteriores, cálculos de engenharia e avaliações de preços no mercado (ANEEL, 2013).

O parâmetro fundamental utilizado para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE é a Relação Custo-Benefício (RCB). O benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda no horário de ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico. O custo está relacionado aos aportes feitos para a sua realização do projeto de EE.

Na avaliação da racionalidade de um projeto de EE verifica-se se o benefício proporcionado é maior que aquele que haveria se o recurso tivesse sido empregado na expansão do sistema elétrico. Desta forma, o benefício apurado com a valoração da energia e da demanda reduzidas ao custo unitário marginal de expansão do sistema, deve ser pelo menos 25% maior que o custo do projeto, isto é, o projeto deve ter uma $RCB \leq 0,8$ (ANEEL, 2013).

Este método adotado pela ANEEL (2013) baseia-se no cálculo do custo unitário de perdas técnicas no sistema elétrico, no qual a energia e a demanda economizadas (evitadas) correspondem a uma redução de perdas no sistema e, o benefício “de evitar uma unidade de perdas é numericamente igual ao custo de fornecer uma unidade adicional de carga” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA, 1996). O cálculo se baseia no impacto para o sistema elétrico da carga evitada, supondo-se um perfil de carga típico e caracterizado pelo Fator de Carga (FC). As perdas evitadas no sistema são calculadas a partir da redução de 1 kW na ponta, seu reflexo na demanda fora de ponta por meio do fator de carga, e pelos fatores de perda de energia.

A avaliação econômica do projeto é feita por meio do cálculo do Custo Benefício (RCB) (Equação 1), expressa pela relação do Custo Anualizado Total (CAT, em R\$/ano) dado pela somatória dos custos de cada equipamento/melhoria, anualizados para o período correspondente a vida útil dos mesmos pelo Benefício Anualizado Total (BAT, em R\$/ano), calculado por meio Equação 2.

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (1)$$

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (2)$$

Onde:

EE: Energia anual economizada (MWh/ano);

CEE: Custo unitário da energia evitada (R\$/MWh);

RDP: Demanda evitada na ponta (kW ano);

CED: Custo unitário evitado da demanda (R\$/kW ano).

O Custo Unitário Evitado de Demanda (CED) para projetos de eficiência em baixa tensão é calculado utilizando-se os custos unitários do uso do sistema de distribuição (R\$/MWh), no horário de ponta e no horário fora de ponta, da tarifa branca. Também considera o fator de carga médio da distribuidora dos últimos 12 meses e a constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta.

O Custo Unitário da Energia Evitada (CEE), nos horários de ponta e fora de ponta na bandeira verde (R\$/MWh), considera as constantes de perda de energia no posto de ponta e fora de ponta, considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta, nos períodos secos e úmidos.

Na avaliação ambiental, quantificou-se as emissões de CO₂ evitadas pela adoção da medida de conservação de energia de pintura da telha, a partir da relação de 0,137kgCO₂/kWh, visto que estas são as emissões geradas para a produção de um kWh no setor energético brasileiro (EPE, 2015). Na sequência, calculou-se o índice de neutralização de CO₂-equivalente considerando que uma árvore remove da atmosfera cerca de 7kg/ano.árvore, conforme dados apresentados por LACERDA et al. (2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desempenho Termoenergético

As médias mensais do consumo de energia elétrica de referência para cada um dos modelos de edificação (HISbase e HIS1) e as médias mensais da temperatura interna foram consolidadas na Figura 5.

Verificou-se que as duas variáveis (consumo de energia elétrica de referência e temperatura interna média) apresentaram comportamentos semelhantes, ou seja, nos meses em que a temperatura interna apresentou menores valores, também ocorreu menor consumo de energia elétrica e, nos meses nos quais a temperatura interna apresentou maiores valores, também ocorreram maiores consumos de energia elétrica.

No mês de julho foram constatados os picos mínimos para as temperaturas e consumos de energia de (25,72°C e 83,27 kWh) e (24,98°C e 78,07 kWh) para os modelos HISbase e HIS1, respectivamente. No mês de outubro foram verificados os picos máximos para as e consumos de energia (30,51°C e 216,93kWh) e (29,45°C e 204,88 kWh) para os modelos HISbase e HIS1, respectivamente. Também foi observado que, em todos os meses, o consumo de energia elétrica e a temperatura interna da HISbase apresentaram valores superiores aos da HIS1.

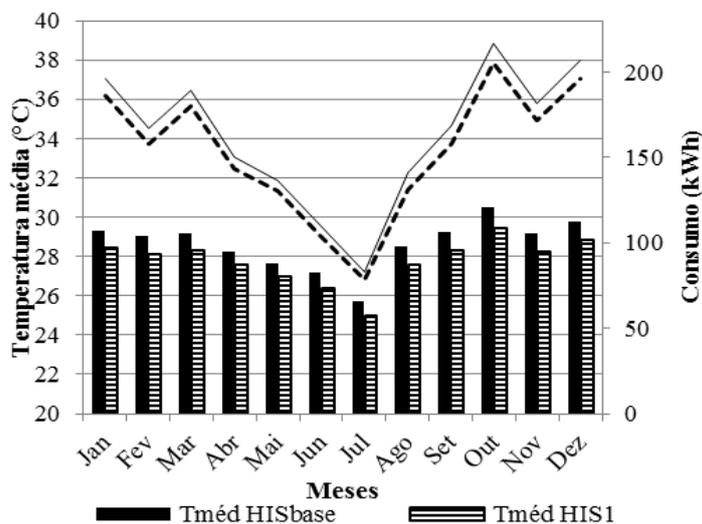


Figura 4 - Temperaturas internas e consumo de energia elétrica mensal nos modelos HISbase e HIS1

Nas simulações das HISbase e HIS1, obtiveram-se as temperaturas internas médias anuais (TM) de 28,62 e 27,76°C, respectivamente, e os consumos de energia elétrica mensais de referência (CM) de 162,21 e 153,41kWh, respectivamente (Tabela 1). As variáveis consumo de energia elétrica e temperatura interna da HIS1, apresentaram redução em relação à HISbase de 5% e 3%, respectivamente.

Tabela 1 - Resultados das simulações com parâmetros do RTQ-R

Modelos	Temperatura Interna Média Anual (°C)	Consumo Mensal de Referência (kWh)
HISbase	28,62	162,21
HIS1	27,76	153,41

A análise de correlação linear entre as variações de TM e CM resultou em coeficiente igual a 0,81 (correlação positiva e forte) (Figura 5). Verificou-se que, no caso de redução de 1°C na temperatura interna média do ar (TM), obtêm-se economia de 10,85 kWh por mês (que equivale a redução de 7,1% do consumo médio de energia (CM) em relação ao modelo padrão - HISbase).

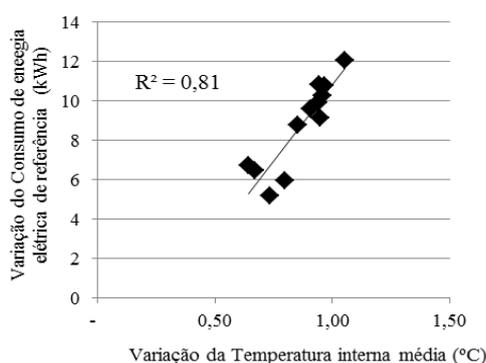


Figura 5 - Correlação Linear entre TM e CM

Com base nesses resultados ficou demonstrada a redução do consumo de energia elétrica e da temperatura interna, após a aplicação de estratégia bioclimática de pintura da cobertura com cor branca, contribuindo para a eficiência econômica (em termos termoenergético) de habitação de interesse social.

3.2 Avaliação econômica e ambiental da implementação das intervenções propostas

O custo para a pintura das 472 habitações pertencentes ao residencial onde se localiza o objeto de estudo foi calculado considerando-se os custos de materiais, mão de obra direta e indireta para realização do projeto de eficiência energética. No cálculo dos custos dos materiais, foram consideradas características e recomendações definidas pelo fabricante da tinta (SHERWING WILLIAMS, 2014) e a composição do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil do mês de maio/2014) (CEF, 2014).

O custo total (direto e indireto) estimado para pintura com tinta nas coberturas das habitações é R\$229.577,48 sendo que, anualizados para a vida útil estimada de cinco anos, é igual a R\$ 56.929,86.

As metas de economia de energia e de demanda empregadas foram obtidas por meio de simulação da HISbase (com telha cerâmica sem pintura) e HIS1 (com telha cerâmica pintada com tinta térmica na cor branca), ambas na condição condicionada artificialmente (um condicionador de ar em cada quarto), foram sintetizados na Tabela 4. Nas referidas simulações utilizou-se o padrão estabelecido pelo RTQ-R para condicionamento de ar no horário de 21 às 8h. Entretanto, verifica-se na prática, que os consumidores de energia elétrica acionam os referidos equipamentos condicionadores de ar antes das 21h e, portanto, no horário de ponta.

Tabela 2 - Redução de Demanda na Ponta (RDP) e Energia Anual Economizada (EE)

Modelos	Consumo anual (kWh)	Demanda máxima (kW)
HISbase	1.946,51	2,04
HIS1	1.840,96	1,51
Economia por HIS	105,55	0,53
Economia para 472 HIS	49.819,60	250,16

A Energia Evitada ou Economizada (EE) foi de 49.819,60 kWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta (RDP) foi de 250,16kW.

Para o cálculo do Custo Unitário Evitado de Demanda (CED), ou Demanda Evitada, consideraram-se os valores do custo unitário do uso do Sistema de Distribuição nos horários de ponta e fora de ponta, na tarifa Branca, no valor de R\$436,92 e R\$127,53/MWh, respectivamente, válidos a partir de 08 de abril de 2014 (ANEEL, 2014b).

O FC foi calculado utilizando-se dados da amostragem do consumo e da demanda da concessionária no período de janeiro a dezembro de 2013, obtendo-se o valor de 0,65, que é base para os cálculos propostos na metodologia.

O CED foi de R\$552,80/kWh e o Custo da Energia Evitada (CEE) foi de 206,78R\$/MWh. O Benefício Anualizado Total (BAT) foi de R\$148.595,60.

Avaliando a relação custo-benefício do projeto de eficiência energética proposto, que envolve a pintura da cobertura de 472 habitações de interesse social (HIS) com tinta térmica na cor branca, com objetivo de reduzir a absorção térmica da mesma, pode-se concluir que é viável economicamente, com uma RCB de 0,38, valor inferior ao limite de 0,8 estabelecido pela ANEEL (2013). Uma RCB de 0,38 significa que para cada R\$0,38 investidos no projeto de eficiência, obtêm-se R\$ 1,00 em economia de energia elétrica.

Em termos ambientais, considerando que na geração de energia no Brasil, a relação de emissão de CO₂ é de 0,137kgCO₂/kWh (BEN, 2015), com a economia de 49819,60kWh/ano, são evitadas emissões de 6825kg de CO₂ na atmosfera, o que equivale à neutralização processada por cerca de 975 unidades arbóreas no mesmo período, conforme Lacerda et al (2009).

Concluiu-se que, a aplicação dessa medida multidisciplinar pode contribuir para a eficiência energética em edificações, evidenciando-se a importância de estudo sobre estes temas por parte dos agentes envolvidos na definição de políticas públicas, tanto em termos econômicos (eficiência energética), quanto ambientais (redução de emissões de CO₂).

4. CONCLUSÕES

A redução do consumo de energia elétrica e da temperatura interna, após a aplicação de estratégia bioclimática de pintura da cobertura com cor branca, contribuiu para a eficiência termoenergética de habitação de interesse social, objeto de estudo.

Comparando-se o consumo de energia elétrica e temperatura interna dos modelos HISbase e HIS1, verificou-se que estas variáveis apresentaram reduções percentuais de 5 e 3%, respectivamente.

A redução de 1°C na temperatura interna média, refletiu em economia de 10,85 kWh/mês no consumo de energia elétrica de referência, o que equivale à redução de 7,1% em relação ao modelo padrão - HISbase.

Avaliando a Relação Custo-Benefício de projeto de eficiência energética envolvendo a pintura da cobertura de 472 habitações de interesse social (HIS) com tinta térmica na cor branca (HIS1), com finalidade de reduzir a absorvância térmica da mesma, pode-se concluir que é uma estratégia bioclimática economicamente viável, alcançando Relação Custo Benefício de 0,38, valor inferior ao limite de 0,8, estabelecido pela ANEEL, que significa que para cada R\$0,38 investidos no projeto de eficiência obtêm-se R\$ 1,00 em economia de energia elétrica. Em termos ambientais, evidenciou-se também que são deixados de emitir cerca de 6825kg de CO₂ na atmosfera em virtude da eficiência energética promovida da pela pintura da cobertura.

Os resultados obtidos referem-se às condições específicas para cidades localizadas em zonas bioclimáticas ZB07 sendo que, a tipologia de HIS (objeto deste estudo) é semelhante às construídas nas demais regiões brasileiras, possibilitando que a sistemática adotada seja passível de aplicação em outras tipologias e localidades do Brasil. Exponha nesta seção as conclusões a respeito do seu trabalho. Resgate o objetivo do seu trabalho confrontando-o com os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. *Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.* Brasília, DF, 9 set.2010 Disponível em <http://www.ANEEL.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em 15/10/2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA- ANEEL. *Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) – Módulo 7 – Cálculo de Viabilidade, Revisão 1.* ANEEL. Brasília, DF, 27 set.2013. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2013556.pdf>. Acesso em 15/10/2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. *Sistema Bandeiras Tarifárias.* ANEEL, 2014a. Disponível em http://www.ANEEL.gov.br/arquivos/PDF/Informacoes_do_PMO_Novembro_de_2014.pdf. Acesso em 05/11/2014

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. *Resolução Homologatória Nº 1.704, de 7 de Abril de 2014. Homologa o resultado do reajuste tarifário anual, estabelece a receita anual referente às instalações de conexão, fixa as Tarifas de Energia - TE e as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição - TUSD, referentes às Centrais Elétricas Mato-grossenses S.A - CEMAT.* ANEEL. Brasília, 2014b. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh20141704.pdf>. Acesso em 04/05/2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADDEE. *Método para Determinação, Análise e Otimização das Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição.* Relatório 19-34. Rio de Janeiro. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 15.220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e*

diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 30 p.

BRASIL. Lei nº 12.212, de 20 de Janeiro de 2010. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nos 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Brasília, DF, 20 jan. 2010. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.htm. Acesso em 05/06/2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Cadernos MCidades Parcerias – Caderno 9 Eficiência Energética em Habitação de Interesse Social. Brasília, 2005. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/index.php/component/content/article/37-destaques/242-cadernos-do-ministerio-das-cidades.html>. Acesso em 07/02/2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf – Premissas e Diretrizes. Brasília, 2011a. Disponível em <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>. Acesso em 18/06/2012.

BRASIL. Portaria nº 594, de 18 de outubro de 2011. Aprova o “Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf – Premissas e Diretrizes. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 out. 2011b. Disponível em http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2011/Portaria_n_594-2011.pdf. Acesso em 18/06/2012.

BUGES, N. L., STUMPO, L. F. A., PORTO, F. H. F. S., LÓPEZ, V., ANDREASI, W. A. A eficiência energética de contêiner adaptado Como residência nos diversos climas do Brasil. Anais [do] XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Avanços no desempenho das construções - pesquisa, inovação e capacitação profissional (ENTAC 2014, Maceió: Marketing Aumentado, 2014.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL - CEF. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil– SINAPI. Disponível em http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/index.asp. Acesso em 14/03/2014.

COSTA, S. F. Introdução ilustrada à estatística. 4ª ed. São Paulo: Harba, 2005. 399 p.

DAMÉ, L. Habitação PAR, desempenho Ímpar? Uma avaliação Funcional de Unidades Multifamiliares em Pelotas/RS. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. Boletins de energia: Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2013. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em <http://www.epe.gov.br/Lists/BoletinsDeEnergia/DispForm.aspx?ID=218>. Acesso em 11/07/2014.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese. Ano base 2014 - Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf. Acesso em 12/07/2016. 61p.

ENERGYPLUS. *Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output.* University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory of the University of California. 2013. 2206p.

EUROPEAN PARLIAMENT; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive – Featuring Country Reports 2012.* Porto: Adene, 2013. Disponível em <http://www.epbd-ca.eu/>. Acesso em 14/11/2014.

EUROPEAN PARLIAMENT; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. *Directive 2010/31/EU de 19 de maio de 2010.* Estrasburgo: *Official Journal of the European Union*, 2010. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:pdf>. Acesso em 14/11/2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. *Portaria nº 18 de 16 de janeiro de 2012. Aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ-R para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.* Rio de Janeiro. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jan. 2012.*

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *ISO 7726: Thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities.* Switzerland, 1998.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE, *Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (v5).* Florianópolis: LABEEE, 2011a. Disponível em http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/catalogo_propriedades_termicas_parede_e_cobertura_out2011_2.pdf. Acesso em 26/07/2013.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE, *Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador Slab no programa EnergyPlus.* Florianópolis: LABEEE, 2011b. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br>. Acesso em 26/07/2013.

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z. D.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIZEL, J. L. *Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas.* METRVM-ESALQ, Universidade de São Paulo. p. 1-23, 2009. Disponível em <http://cmq.esalq.usp.br/wiki/doku.php?id=publico:metrvm:start>. Acesso em 16/05/16

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. *Eficiência energética na arquitetura.* São Paulo: PW, 1997. 192 p.

MAZZAFERRO, L.; SILVA, A.; S.; GHISI, E. *Influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares.* In: *Congresso Luso-brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis*, v. 3, Guimarães-Portugal: Universidade de Minho, 2014. p. 241-251.

MIRANDA, S. A. *Desempenho Térmico em Dormitórios e Consumo de Energia Elétrica Residencial: Estudo de Caso em Cuiabá-MT.* 2011. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

MONTEIRO, V. M. L. M., VELOSO, M. F. D. PEDRINI, A. *Conforto térmico e habitação de interesse social: uma proposta adequada à realidade do município de Macaíba/RN. II Encontro [da] Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (ENANPARQ), Natal, 2012.*

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013. Brasília, DF, 2013. Disponível em <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/download>. Acesso em 10 /07/ 2014.*

ROTTA, R. *Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria - RS. 2009. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.*

SHERWIN-WILLIAMS. *Boletim Técnico Eco Telha Térmica código 728. Disponível em <http://www.sherwin-williams.com.br>. Acesso em 10/07/ 2014.*

SAILOR, D. J.; VASIREDDY, C. *Correcting aggregate energy consumption data to account for variability in local weather. Environmental Modelling & Software, Kidlington, v. 21, n.5, p. 733–738, 2006. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13648152/21/5>. Acesso em 10/12/ 2014.*

VIEIRA, R. D.; MEDVEDOVSKI, N. S.; SCHELLIN, L. L.; COSWIG, M. T. *Caracterização do usuário do PAR em Pelotas: uma análise de apoio ao processo de gestão condominial pós-arrendamento. In: XVII Congresso de Iniciação Científica e X Encontro de Pós-Graduação, Pelotas, 2008.*