

INVESTIGAÇÃO DA VIABILIDADE DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS VERTICais ATRAVÉS DE SOLUÇÕES DE CONFORTO AMBIENTAL PASSIVO - BENTO GONÇALVES/RS

Josiane Reschke Pires⁽¹⁾; Marco Aurélio Stumpf González⁽²⁾; Luciana Silva Roos⁽³⁾;
Bruna Liliane Brenner⁽⁴⁾; Andrea Parisi Kern⁽⁵⁾

(1) Arquiteta, Mestranda em Eng. Civil - PPGEC UNISINOS, Brasil, e-mail: josianepires@uol.com.br

(2) Doutor em Eng. Civil, professor do PPGEC - UNISINOS, Brasil, e-mail: mgonzalez@unisinos.br

(3) Aluna de Arquitetura e Urbanismo - UNISINOS, Brasil, e-mail: lucianaroos@gmail.com

(4) Aluna de Arquitetura e Urbanismo - UNISINOS, Brasil, e-mail: brunaabrenner@hotmail.com

(5) Doutora em Eng. Civil, professora do PPGEC - UNISINOS, Brasil, e-mail: apkern@unisinos.br

Resumo

A preocupação com a sustentabilidade reforçou a necessidade de otimização dos recursos energéticos para a redução do consumo de energia elétrica e dos recursos naturais. Um dos aspectos é a necessidade de adequar as edificações para o clima em que estão localizadas, reduzindo o consumo energético da habitação. O objetivo desta pesquisa é investigar a viabilidade da aplicação de critérios de desempenho térmico em edificações residenciais, fator determinante na qualidade das habitações. A pesquisa foi desenvolvida a partir de simulação computacional em projeto residencial multifamiliar de interesse social, em Bento Gonçalves, examinando as soluções mais adequadas através do tipo de envelope, absorção e insolações. Também foram examinadas técnicas e ferramentas de projeto disponíveis, com a utilização integrada de pacotes BIM e softwares de simulação. Para análise do desempenho térmico, adotou-se a norma de desempenho NBR 15575 e o método graus-hora. Para modelagem BIM, utilizou-se o Revit/Autodesk e, para as simulações térmicas, a ferramenta Energy Plus, software de análise energética para edificações. Compararam-se, ainda, os custos dos sistemas construtivos propostos, considerando-se um período de 50 anos. Os resultados indicam que, com o aumento do isolamento das paredes da edificação, há a melhora do conforto térmico e economia de energia, com período de retorno de até dois anos.

Palavras-chave: Desempenho térmico; Conforto térmico; BIM; EnergyPlus; Período de retorno.

Abstract

The concern with the sustainability increased the need for energy resource optimization to reduce electric energy consumption and natural resources. One of the aspects is the necessity to adapt buildings to the local climate, reducing the electric energy consumption of housing. The aim of this research is investigate the viability of applying some criteria of thermal performance in residential buildings, determining factor in the quality of housing. The research was developed by computational simulation on social multifamily housing, in Bento Gonçalves, Brazil, examining the most appropriate solutions through the type of envelope, absorptance and insulation. The techniques and design tools available were also examined, with the integrated use of BIM package and simulation softwares. To analyze the thermal performance was adopted the Brazilian standard NBR 15575 and the degree-hour method. For the BIM modeling was used Revit/Autodesk and for the thermal simulation, Energy Plus, a specialized software for energy analysis. In addition, the cost comparison of the construct systems was compared, considering a period of 50 years. The results indicate that, by increasing the insulation of the walls, there was improvement of the thermal comfort and energetic economy, with a payback period of up to two years.

Keywords: Thermal performance; Thermal comfort; BIM, Energy Plus; Payback period.

1. INTRODUÇÃO

Com a crise energética mundial e a grande preocupação com o setor energético nacional, há necessidade de otimização dos recursos energéticos para a redução do consumo de energia elétrica nas edificações. As edificações apresentam o maior potencial de melhoria de eficiência energética. Estima-se que, de toda energia elétrica consumida, 48% tem origem no atendimento ao conforto interno destas. No setor residencial, o consumo de energia elétrica para o condicionamento térmico da edificação chega a 32% (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

O conforto ambiental nas residências, em especial o conforto térmico, tem sido frequentemente obtido através de soluções baseadas em condicionamento artificial. Uma das opções para reduzir o consumo de energia de uma edificação é o uso de soluções passivas de projeto. Cunha *et al.* (2006) e Roméro (2000) apontam que a bioclimatologia busca satisfazer as exigências de conforto térmico através da definição das condições ambientais – do meio natural e construído – e dos aspectos de lugar, história e cultura, para empregar no desenho arquitetônico soluções adequadas para a execução das obras.

A eficiência térmica do envelope da edificação é uma estratégia-chave na concepção e construção de edifícios que limitem o uso de sistemas de condicionamento ativo dos ambientes internos (MORRISSEY E HORNE, 2011). Segundo Lamberts e Triana (2007) as características da envolvente e dos sistemas construtivos empregados determinam o desempenho térmico da edificação. Os autores afirmam que diversas variáveis influem no desempenho térmico da edificação, sendo, entre outras, o tipo de material e cor empregados, o uso ou não de isolantes térmicos, orientação solar, área e tipo de esquadrias, cargas térmicas internas e o uso ou não de estratégias bioclimáticas.

Desta forma, o objetivo desta pesquisa é investigar a viabilidade da redução do consumo de energia elétrica em uma edificação residencial vertical, na cidade de Bento Gonçalves, RS, considerando a alteração da transmitância e absorvância térmica da envoltória da edificação, através de análise com BIM e programas computacionais de simulação.

2. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto, este estudo fundamenta-se no método de simulação computacional, assim sendo, utiliza-se o programa computacional *EnergyPlus* para análise térmica e eficiência energética. Para a análise BIM, utilizou-se o programa Revit/Autodesk. A edificação de estudo (Figura 1) é um empreendimento vertical de cinco pavimentos, com quatro unidades de três dormitórios por pavimento, área de 55,00m² em cada unidade e pé-direito de 2,50m. Localiza-se em Bento Gonçalves, RS, localizada na zona bioclimática ZB1.

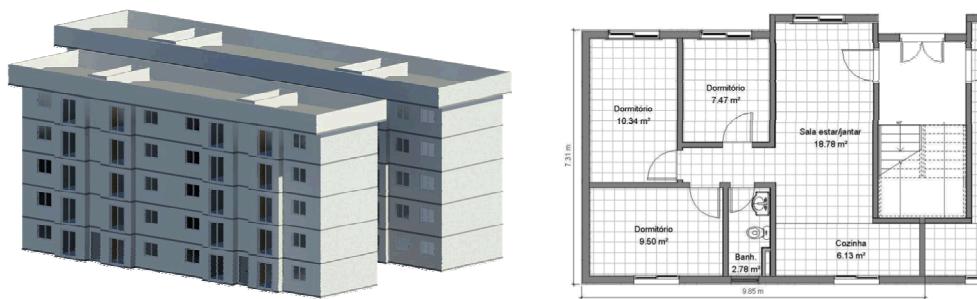


Figura 1 – Edificação A: Fachada e planta baixa parcial do andar tipo

Através das recomendações da NBR 15575-4 (ABNT, 2010b), foram identificados alguns sistemas construtivos utilizados nas simulações térmicas. Segundo esta norma as paredes das

edificações na ZB1 devem ter transmitância térmica menor ou igual a 2,50 W/m².K. Assim, foram definidas quatro composições de paredes (Tabela 1), com absorção de 0,2 (cor clara), 0,4 (cor média), 0,8 (cor escura). Para estas simulações se mantiveram constantes (Tabela 1): cobertura, piso, paredes internas (P0) e vidros de 3mm, além de sombreamento, do tipo veneziana (*setpoint* de fechamento: 29°C), nas esquadrias dos quartos e sala.

Sistema construtivo	Descrição	U [W/(m ² K)]	CT [KJ/m ² K]	φ [h]	α [-]	FCS [-]
Cobertura base	Telha de fibrocimento	2,06	233	-	0,8	6,46
	Laje de concreto (10cm)					
Piso base	Piso cerâmico (1,0cm)	2,58	-	-	0,7	7,22
	Laje mista (12,0cm)					
P0	Blocos cerâmicos 6 furos Espessura total: 14cm	2,48	159	3,3	0,2	1,94
P1	Blocos cerâmicos 6 furos				0,2	1,62
Base	Argamassa de emboço: 2,5cm	2,02	192	4,5	0,4	3,23
	Espessura total: 19cm					
P2	Blocos cerâmicos 8 furos				0,2	1,44
Alteração 1	Argamassa de emboço: 2,5cm	1,80	231	5,5	0,4	2,88
	Espessura total: 24cm					
P3	Blocos cerâmicos 2 furos				0,2	1,96
Alteração 2	Argamassa de emboço: 2,5cm	2,45	203	4,0	0,4	3,92
	Espessura total: 19cm					
P4	Tijolos maciços duplo				0,2	1,8
Alteração 3	Argamassa de emboço: 2,5cm	2,25	445	6,8	0,4	3,6
	Espessura total: 25cm					

Tabela 1 – Propriedade dos sistemas construtivos simulados

Fonte: (ABNT, 2005d)

As simulações foram realizadas inicialmente para a edificação com a configuração original, ou seja, com as paredes externas tipo P1, com absorção de 0,2. Posteriormente, realizaram-se as estratégias propostas, com o intuito de melhorar a temperatura interna, através de diferentes alternativas de envelope.

As simulações foram realizadas com ventilação natural e, para a análise de eficiência energética, com sistema de condicionamento de ar nos ambientes de permanência prolongada. Para a modelagem do sistema de condicionamento de ar considerou-se a temperatura do termostato em 18°C para aquecimento e, para refrigeração, em 29°C, o ventilador em sistema contínuo com 0,7 de eficiência, já a eficiência do motor, 0,9. A taxa de fluxo de ar por pessoa foi de 0,00944 m³/s, e a relação entre energia consumida pelo aparelho e o calor retirado do ambiente de 3,0 W/W, para o calor fornecido ao ambiente 2,75 W/W. Por fim, a capacidade destes sistemas foi dimensionada automaticamente pelo programa.

Todas as simulações foram feitas com os dados climáticos da cidade de Bento Gonçalves, RS, elaborados pelo Prof. Maurício Roriz, a partir de dados horários, registrados em estação climatológica INMET entre os anos de 2000 e 2010 (RORIZ, 2011).

Para a classificação do desempenho térmico das edificações estudadas utilizou-se a norma de desempenho - NBR 15575-1 (ABNT, 2010a). Sua aplicação destina-se à ambientes de permanência prolongada. Para tanto, os valores da temperatura interna resultante das simulações são comparadas com a temperatura externa e a diferença comparada com os valores máximos para o verão e mínimos para o inverno, apresentados na Tabela 2. A simulação foi realizada em horas por um período de um ano, para melhor comparação dos resultados com o método de graus-hora.

Nível de desempenho	Verão	Inverno
Mínimo (M)	$T_{i,\text{Max}} \leq T_{e,\text{Max}}$	$T_{i,\text{Min}} \geq T_{e,\text{Min}} + 3^\circ\text{C}$
Intermediário (I)	$T_{i,\text{Max}} \leq (T_{e,\text{Max}} - 2^\circ\text{C})$	$T_{i,\text{Min}} \leq (T_{e,\text{Min}} + 5^\circ\text{C})$
Superior (S)	$T_{i,\text{Max}} \leq (T_{e,\text{Max}} - 4^\circ\text{C})$	$T_{i,\text{Min}} \leq (T_{e,\text{Min}} + 7^\circ\text{C})$

Tabela 2 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para a ZB1

Fonte: (ABNT, 2010a)

De forma complementar a esta classificação realizou-se uma avaliação dos dados através do método graus-hora. Esta metodologia é definida como a somatória da diferença de temperatura do ar que ultrapassa uma temperatura base estipulada. Através do total de graus-hora pode-se definir a quantidade de horas que o ambiente esteve fora da faixa de conforto. Para este estudo, a temperatura base foi definida através da zona de conforto de Givoni (1992) para países desenvolvidos, com temperaturas variando entre 20°C e 26°C.

Por fim, como forma de avaliar economicamente os sistemas construtivos, utilizou-se o Período de Retorno. Este método mede o período de tempo decorrido entre o investimento inicial e o retorno deste investimento, através do fluxo de caixa anual da economia energética do sistema construtivo. Já a utilização integrada de pacotes BIM, com utilização do Revit/Autodesk e softwares de simulação, *EnergyPlus*, foi identificada através de observação e percepção dos participantes do estudo.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A cidade de Bento Gonçalves, RS, apresenta um clima subtropical de altitude, com temperaturas médias no verão entre 26°C e 17°C, enquanto que no inverno, a média é de 15°C a 7°C. A variação climática que ocorre ao longo do ano indica uma maior necessidade de aquecimento da edificação para melhorar o conforto térmico interno. Pelo estudo da carta bioclimática constata-se que em 64% das horas há desconforto térmico, sendo causados pelo frio em 59,5% das horas e pelo calor em 6,48% das horas.

Na Tabela 3 apresenta-se a classificação do desempenho térmico das edificações pelo método da NBR 15575, adotando-se os limites correspondentes a ZB1. Percebe-se que a edificação manteve o mesmo nível de desempenho no verão (intermediário), independente do sistema construtivo e absorção. Já em relação ao nível de desempenho no período de inverno, apenas o sistema construtivo P4, com absorção de 0,8 (P4-0,8), obteve o nível intermediário, os demais sistemas apresentaram um nível de desempenho mínimo.

Sistema Absorção	P1 0,2	P1 0,4	P1 0,8	P2 0,2	P2 0,4	P2 0,8	P3 0,2	P3 0,4	P3 0,8	P4 0,2	P4 0,4	P4 0,8
Temp. max. [°C]	29,9	30,2	31,8	29,8	29,9	30,6	29,8	30,1	31,1	29,6	29,7	29,9
$T_{i,\text{Max}} - T_{e,\text{Max}} [\text{°C}]$	-2	-3	-3	-2	-2	-3	-2	-2	-3	-2	-3	-3
Desemp. verão	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Temp. mín. [°C]	8,3	8,4	8,7	9,2	9,3	9,5	8,2	8,3	8,6	11,2	11,6	12,1
$T_{e,\text{Min}} - T_{i,\text{Min}} [\text{°C}]$	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	5
Desemp. inverno	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	I

Tabela 3 – Temperaturas mínimas e máximas e nível de desempenho apresentado pelos sistemas construtivos – Método NBR 15575

Para melhor verificar a eficiência das alternativas propostas, utilizou-se o método graus-hora, cujos resultados apresentam-se na Figura 2. Percebe-se que há uma pequena melhora de horas em conforto térmico, de 8% a 33%, apenas pela mudança de absorção das paredes, em todos os sistemas construtivos analisados.

Ainda de acordo com a Figura 2, os sistemas construtivos que obtiveram maior conforto térmico, tanto no inverno quanto no verão, foram P2-0,8 e P4-0,8, respectivamente, alvenaria com bloco cerâmico de oito furos e com tijolos maciços duplos, ambos com absorção de 0,8. Estes sistemas obtiveram uma melhora de 16% e 25%, respectivamente, em comparação com o sistema construtivo base (P1-0,2).

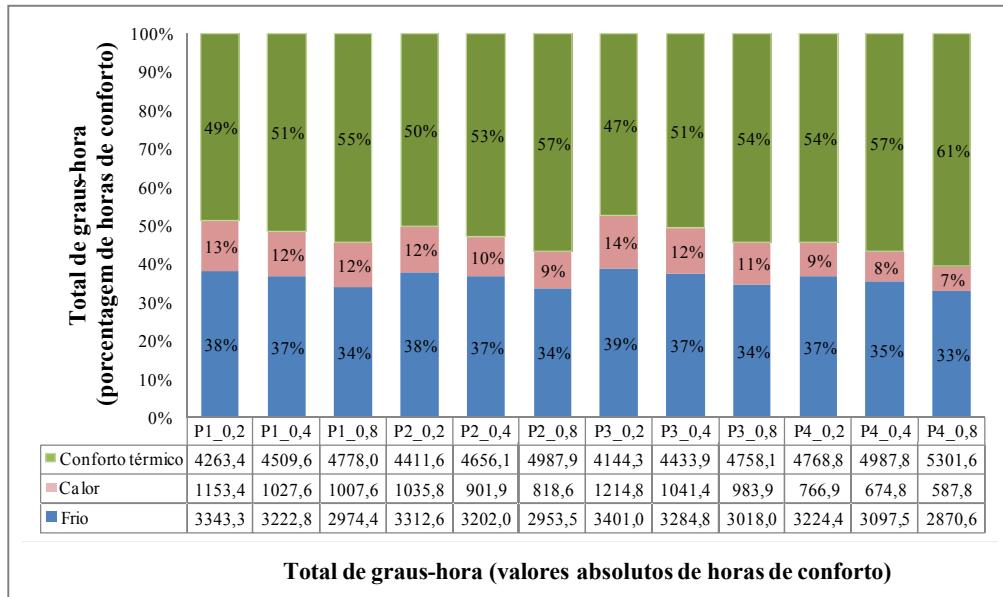


Figura 2 – Nível de desempenho térmico apresentado pelos sistemas construtivos – Método Graus-hora

Analisando os resultados pelos dois métodos, verifica-se que os sistemas que possuem maior massa térmica (e atraso térmico) apresentaram melhores resultados, já que acumulam e armazenam grandes quantidades de calor/frio no interior da massa, direcionando-os para superfície e, posteriormente, suprindo a demanda térmica da edificação. Além disso, o calor obtido através da entrada de radiação solar pelas janelas é impedido por estes sistemas, fazendo com que a temperatura interna, no inverno, fique mais elevada em relação à temperatura externa. Contudo, no verão, as venezianas estão fechadas, evitando a entrada de calor no ambiente. Estes resultados corroboram com os encontrados por Pozza (2011) e Pouey (2011) em estudos na ZB1 e ZB2 onde, com a utilização de envoltórias com maior absorção e resistência, obteve-se uma redução de até 43% no consumo do sistema de condicionamento de ar em relação à edificação base.

Corroboram, do mesmo modo, com os resultados obtidos através do método de simulação da NBR 15575, onde nos períodos frios se encontra a maior quantidade de desconforto térmico. Salienta-se que os parâmetros construtivos que apresentaram os melhores resultados podem aumentar o consumo de energia para a refrigeração da edificação, pois dificultam a perda de calor para o ambiente. O aumento do consumo não ocorreu provavelmente pela temperatura do termostato de refrigeração ser alto (29°C).

O Período de Retorno foi utilizado para a avaliação econômica dos sistemas construtivos simulados, estimando-se o custo do sistema base e das alternativas simuladas e a diferença de custo destes investimentos. Com a economia de energia elétrica, calculou-se o período de retorno do custo do sistema construtivo. Já o consumo de energia elétrica anual é a quantidade de energia despendida necessária para a manutenção da temperatura estipulada para o ar condicionado (18°C a 29°C) nos ambientes de permanência prolongada (dormitórios e salas), medido pelo programa *Energy Plus*. O custo elétrico anual foi calculado com base no gasto energético anual com tarifa de R\$ 0,42, recorrente na região, para edificações de habitação de

interesse social. Por fim, a economia é a diferença entre o gasto de energia elétrica do sistema base e o gasto do sistema alternativo. Com esta economia anual é calculada o período de retorno do investimento inicial que foi necessário para este sistema alternativo ser construído. A economia em 50 anos é o valor presente da economia da energia elétrica.

Na Tabela 4 apresentam-se os resultados dos períodos de retorno dos sistemas construtivos simulados. Assim, é confirmar o aumento de horas de conforto térmico através do aumento da absorção, com aumento de até 68% na economia anual do gasto elétrico do sistema de ar condicionado para manutenção do conforto térmico nos ambientes, comparando-se a absorção de 0,2 com a de 0,8, do mesmo sistema construtivo.

Além disto, o sistema que apresentou o menor gasto com o sistema de ar condicionado para manutenção do conforto na edificação foi o sistema P4-0,8, com economia de R\$ 1.730,29 anuais, para a edificação como um todo, significando uma economia anual de R\$ 86,51 por unidade habitacional (R\$ 8.626,01 ao fim do ciclo de vida de 50 anos). Entretanto, este sistema apresenta um período de retorno de investimento de 17 anos e 7 meses e, mesmo que abaixo do ciclo de vida de 50 anos estipulado, o sistema que possui o menor período de retorno, 2 anos e 3 meses, é o sistema P2-0,8. Este sistema igualmente obteve uma redução do gasto de energia elétrica, com economia de R\$ 1.166,67 anuais para a edificação inteira, ou seja, R\$ 58,33 por unidade habitacional, por ano (R\$ 6.712,82 ao fim do ciclo de 50 anos).

Ident.	Absort. α	Custo Sist. Const. [R\$]	Investimento (Custo alt. Px-P0) [R\$]	Consumo anual energia [kWh]	Custo anual energia [R\$]	Economia anual [R\$]	Período Retorno [anos]
P1	0,2			9996,08	4.201,34	-	-
	0,4	19.800,00	0,0	9236,54	3.882,11	319,23	0,0
	0,8			8105,89	3.406,90	794,44	0,0
P2	0,2			8965,20	3.768,06	433,28	6,2
	0,4	22.500,00	2.700,00	8273,70	3.477,43	723,91	3,7
	0,8			7220,27	3.034,67	1.166,67	2,3
P3	0,2			10775,21	4.528,81	-327,47	-
	0,4	36.900,00	17.100,00	9800,35	4.119,07	82,27	205,2
	0,8			8440,38	3.547,48	653,86	25,8
P4	0,2			7175,96	3.016,05	1.185,29	25,5
	0,4	50.400,00	30.600,00	6635,85	2.789,04	1.412,30	21,4
	0,8			5879,27	2.471,05	1.730,29	17,5

Tabela 4 – Comparativo do custo elétrico anual, economia e período de retorno dos sistemas construtivos

Resumidamente, verificou-se que o conforto térmico pode ser melhorado em até 25%, através do aumento do isolamento do envelope da edificação, e, consequentemente, o consumo de energia elétrica reduzido. Ainda, apenas pela mudança da absorção das paredes, pode-se reduzir o consumo de energia elétrica e aumentar em até 33% as horas de conforto térmico do ambiente, sem aumento no custo da edificação, ou seja, sem necessidade de investimento. Além disso, todos os investimentos necessários para a melhora do desempenho da edificação possuem um período de retorno menor que 50 anos.

Por fim, apesar de o Revit possuir a ferramenta de exportação de modelos criados para a simulação em programas de análise térmica e eficiência energética, esta integração ainda não é realizada diretamente e de forma adequada. Os modelos criados são complexos, devido à precisão destes programas, e por utilizarem “famílias” de blocos para modelagem. Desta forma, a sua utilização em programas de simulação (no caso *EnergyPlus*), é dificultada, já que este necessita que o volume do modelo seja simplificado para realizar a simulação.

4. CONCLUSÃO

Dentre as alternativas estudadas pode-se considerar que, para a cidade de Bento Gonçalves, o uso de materiais apropriados para climas frios e úmidos em paredes e coberturas melhoram o desempenho térmico da edificação, tanto para os períodos frios como quentes. A cidade de Bento Gonçalves apresenta um clima composto e ameno, com maiores quantidades de energia requeridas para o aquecimento, e não resfriamento, da edificação.

Apesar de empreendimentos de habitação de interesse social terem restrições de custo, alternativas facilmente implementadas no processo projetual e sem ou com pouco aumento de custo como, por exemplo, a absorvância (cor das paredes) e especificação de diferentes alvenarias, influenciam no conforto térmico. Embora algumas diferenças tenham sido sutis, ressalta-se que através de alternativas projetuais planejadas pode-se diminuir o uso de condicionamento de ar artificial.

Ressalta-se que, ainda que alguns sistemas construtivos simulados tenham alcançado bons resultados dentre os sistemas, há margem para melhora. Isto pode ser obtido através do estudo de sistemas construtivos de cobertura, orientação solar, área e tipo de esquadrias, ventilação cruzada controlada e o uso de estratégias bioclimáticas que permitam sua utilização em climas compostos, tal qual o da cidade de Bento Gonçalves.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220 - 3** – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1** - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2010a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-4** - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro: ABNT, 2010b.
- BRASIL. **Eficiência energética em habitações de interesse social**. Caderno 9. Brasília: Ministério das Cidades/Ministério de Minas e Energia, 2005.
- BRASIL. **Balanço Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em: Setembro 2011.
- CUNHA, E. G.; et al. **Elementos de arquitetura de climatização natural**: Método projetual buscando a eficiência nas edificações. 2. ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2006.
- GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. Levantamento do estado da arte: energia. Projeto: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. **Relatório Projeto Finep**. São Paulo, 2007.
- POUEY, J. A. **Projeto de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2 com avaliação termo energética por simulação computacional**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- POZZA, F. **Análise térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de fluxo de refrigerante variável – VRF**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RORIZ, M. Arquivos climáticos de municípios brasileiros. **Relatório de pesquisa**. ANTAC/DECIV, UFSCar, São Carlos, São Paulo, 2011.
- MORRISSEY, J.; HORNE, R. E. Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 43, n.4, p. 915-924, abr. 2011.
- ROMÉRO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2. ed. São Paulo, ProEditores, 2000.