



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ISOLAMENTO TÉRMICO EM FACHADAS PELO EXTERIOR:
REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO PARA
FINS DE CONFORTO TÉRMICO**

Maurício Henrique Mottin

Lajeado, novembro de 2015.

Maurício Henrique Mottin

**ISOLAMENTO TÉRMICO EM FACHADAS PELO EXTERIOR:
REDUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO PARA
FINS DE CONFORTO TÉRMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, do Centro Universitário Univates, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Rodrigo Spinelli

Lajeado, novembro de 2015.

Maurício Henrique Mottin

**ISOLAMENTO TÉRMICO EM FACHADAS: REDUÇÃO DO
CONSUMO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO PARA FINS DE
CONFORTO TÉRMICO**

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: _____

Prof. Me. Rodrigo Spinelli – Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Me. Rodrigo Spinelli – Orientador

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Dr. Odorico Konrad – Avaliador

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Dra. Emanuele Amanda Gauer – Avaliador

Centro Universitário UNIVATES

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil: _____

Prof. Dra. Emanuele Amanda Gauer

Lajeado, novembro de 2015.

Registro meu agradecimento a toda minha família, primeiramente aos meus pais, Paulo e Rejane, pela educação a mim dada e pelo apoio incondicional aos estudos, e aos meus irmãos, Alex e Vanessa, espelhos fundamentais tanto para minha formação pessoal quanto para com a dedicação à formação universitária.

Gratidão também ao Orientador Prof. Rodrigo Spinelli pela dedicação imparcial à orientação do estudo e pela disponibilização dos protótipos, essenciais para realização do presente trabalho. Agradecimentos também ao Prof. Carlos H. Lagemann pela ajuda voluntária em parte do estudo.

Por fim, agradeço a todos os professores, colegas e amigos que fizeram parte desta trajetória, obrigado!

RESUMO

Atualmente o cenário mundial energético e ambiental encontra-se em um estado crítico. Apresenta demanda cada vez maior e geração ainda dependente de recursos naturais esgotáveis e poluentes, apesar do crescimento da produção através de fontes renováveis, como solar e eólica. Esta situação condicionou diversos países a procurarem soluções para a redução do consumo de energia, principalmente no setor de edificações, devido ao desperdício e falta de eficiência energética observados. Segundo dados de 2014, do Ministério de Minas e Energia, o consumo em edifícios representa 41,1% do total de energia produzido no Brasil. O elevado gasto de energia elétrica direcionado ao conforto térmico dos ambientes através de climatização artificial é o principal alvo do estudo, sendo que parte desta demanda pode ser reduzida consideravelmente por meio de bons projetos arquitetônicos no que se refere à orientação solar e proteções mecânicas, juntamente a um projeto de isolamento térmico que amenize as perdas de calor do edifício. Baseado nisto, o presente estudo, enquadrado no âmbito de pesquisa experimental, foi elaborado com o intuito de analisar o potencial de um fator fundamental para a eficiência energética de edificações, o isolamento térmico. Verificou-se que no Brasil, a utilização de materiais isolantes térmicos em lajes é comum, porém boa parte da troca de calor da edificação com o meio externo se dá através do fechamento vertical externo do edifício, e esse ponto ainda não é tratado com atenção necessária na construção civil atual no País. Dentre as técnicas utilizadas para isolamento térmico de paredes externas, é dado enfoque ao *External Thermal Insulation Composite System* (ETICS), que é o isolamento térmico de fachadas pelo exterior. No trabalho apresentado, a aplicação do ETICS ocorre através de placas de Poliestireno Expandido (EPS). A parte experimental do trabalho foi realizada em protótipos pré-existentis de alvenaria. Foram realizados cálculos de características térmicas para comprovação de requisitos mínimos de desempenho. Com a execução do ETICS em um protótipo, obteve-se uma redução de 81% da transmitância térmica, interferindo consideravelmente na potência de condicionadores de ar necessária. A eficiência do sistema ficou evidente quando analisados os gráficos comparativos de temperaturas internas, sempre com o protótipo ETICS apresentando temperaturas mais amenas e estáveis, fazendo com que não fosse necessário o uso de equipamentos para resfriar o ambiente. No dia de maior diferença, quando temperatura externa máxima foi de 32,9°C ocorreu uma redução de 9,1°C em relação ao ambiente externo e 4,1°C para o protótipo sem ETICS, demonstrando a intervenção positiva do ETICS no desempenho térmico.

Palavras chave: Isolamento Térmico, Eficiência Energética, Conforto Térmico, ETICS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transmissão de calor por condução, convecção e radiação.....	23
Figura 2 - Resistência térmica de materiais isolantes conforme espessura	29
Figura 3 - Resistência superficial do ar	30
Figura 4 - Zona de Conforto: Umidade relativa do ar x Temperatura.....	33
Figura 5 - Arquitetura Vernacular, fachadas cegas e grandes massas térmicas.	35
Figura 6 – Arquitetura <i>Clean</i> , São Paulo, Brasil.	35
Figura 7 - Método estático x adaptativo com base no banco de dados da ASHRAE.	36
Figura 8 - Participação de renováveis na matriz energética	42
Figura 9 - Fluxo de Energia Elétrica no Brasil em 2013	43
Figura 10 - Uso de energia nas edificações Comerciais e Públicas (esq.) e Residenciais (dir.)	46
Figura 11 - Níveis de eficiência.....	49
Figura 12 - Zoneamento bioclimático	50
Figura 13 - Transmitância Térmica máximas em paredes externas	51
Figura 14 - Capacidade Térmica de paredes externas	52
Figura 15 - Requisitos de desempenho de inverno.....	53
Figura 16 - Parede de pano duplo com isolamento na caixa de ar	55
Figura 17 - Evolução das fachadas de forma geral na Europa	57
Figura 18 – Evolução do uso de ETICS em Portugal.....	59

Figura 19- Composição do Sistema ETICS.....	60
Figura 20 - Perdas térmicas através de elementos estruturais - Pontes Térmicas	61
Figura 21 - Patologias frequentes no ETICS	63
Figura 22 - Patologia por insuficiência de cola e dispositivos de fixação.....	64
Figura 23 - Colagem contínua (recomendada; esq.) e Colagem por pontos (dir.)	64
Figura 24 - Protótipos	67
Figura 25 – Protótipo 3 com apresentação das fachadas Norte (esq.) e Sul (dir.).....	68
Figura 26 - Localização dos protótipos	68
Figura 27 - Estação Meteorológica Instrutemp ITWH-1080.....	70
Figura 28 - Painel de leitura de dados.	70
Figura 29 - Sensor de temperatura e umidade DHT03 (esq.) e Arduíno Uno (dir.).....	71
Figura 30 - Composição do ETICS	73
Figura 31 - Montagem do perfil de arranque.....	74
Figura 32 - Perfil de arranque de alumínio.....	74
Figura 33 - Placas de EPS cortadas	75
Figura 34- Fixação e descontinuidade vertical das placas.....	77
Figura 35 - Aplicação das placas de EPS	78
Figura 36 - Placas de EPS fixadas na alvenaria e dispositivo de fixação.....	78
Figura 37 - Protótipos após aplicação das placas de EPS.....	79
Figura 38 - Componentes da camada de base armada.....	80
Figura 39 - Aplicação da camada de base armada.....	81
Figura 40 - Fachada parcialmente finalizada.....	81
Figura 41 - Acabamento com reboco e posteriormente pintado.....	82
Figura 42 - Cobertura de referência.....	82
Figura 43 - Tabela de Radiação Incidente (I _g)	83
Figura 44 - Corte da parede	86
Figura 45 – Corte da parede	89

Figura 46 - Carga térmica no Protótipo 3	102
Figura 47 - Consumo energético Protótipo 3.....	103
Figura 48 - Carga térmica no protótipo 4 em 08/08/2015	104
Figura 49 - Consumo energético Protótipo 4 ETICS	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronograma do TCC I.....	21
Quadro 2 - Cronograma do TCC II	21
Quadro 3 – Dimensões das placas de EPS utilizadas	77
Quadro 4- Dados para cálculo da transmitância térmica	86
Quadro 5- Dados para cálculo da transmitância térmica do protótipo 4	89
Quadro 6 - Variáveis utilizadas na equação de transferência de calor	91
Quadro 7 - Quadro resumo de cálculos térmicos	106
Quadro 8 - Quadro de custos de materiais e mão de obra do ETICS	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tarifas energéticas anuais AES SUL	44
Tabela 2 - Característica dos materiais isolantes.....	60
Tabela 3 - Propriedades do EPS KNAUF	76
Tabela 4 - Propriedades térmicas dos materiais	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Carga térmica nos protótipos em 08/08/2015	92
Gráfico 2 - Contribuição das fachadas na carga térmica total em 08/08/2015	93
Gráfico 3 - Carga térmica com variação da temperatura interna em 08/08/2015.....	94
Gráfico 4 - Contribuição das paredes em relação à carga térmica total com dados de temperatura internas registrados	95
Gráfico 5 - Comparativo de temperaturas em 08/08/2015	97
Gráfico 6 - Comparativo de temperaturas em 31/08/15	98
Gráfico 7 - Comparativo de temperatura com aberturas do P4 vedadas em 08/11/2015	99
Gráfico 8 - Comparativo de temperaturas 09/011/2015 - P4 ETICS vedado	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABECE -	Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural
ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL -	Agência Nacional de Energia Elétrica
AREAM -	Agência Regional de Energia e Ambiente Autônoma da Madeira
ASHRAE -	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
ASTM -	American Society for Testing and Materials
BEN –	Balanco Energético Nacional
NBR -	Norma Brasileira Regulamentadora
EPE -	Empresa de pesquisa energética
ETICS -	External Thermal Insulation Composite Systems (Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior)
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE)
INMETRO -	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEED -	Leadership in Energy and Environmental Design
LFC –	Laboratório de Física das Construções (Portugal)
LNEC -	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Portugal)
LabEEE -	Laboratório de eficiência energética de edificações (UFSC)

- RAC - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações
- RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas
- RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos.....	18
1.1.1	Objetivos específicos.....	18
1.2	Justificativa.....	19
1.3	Estrutura.....	19
1.4	Delimitações do presente trabalho.....	20
1.5	Cronograma	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Física Aplicada à Construção	22
2.1.1	Transferência de Calor.....	23
2.1.2	Condutividade Térmica	27
2.1.3	Carga Térmica	28
2.1.4	Resistência Térmica.....	29
2.1.5	Transmitância Térmica ou Coeficiente Global de Transmissão Térmica	31
2.2	Conforto Térmico	32
2.2.1	Relação Temperatura x Umidade Relativa do Ar.....	36
2.2.2	Condicionamento de ar.....	37
2.3	Eficiência Energética em Edificações	39
2.3.1	A Energia no Brasil e no mundo	40
2.3.2	Demanda energética das edificações no Brasil.....	45
2.3.3	Legislação de eficiência energética	46
2.4	Normas Brasileiras de Desempenho Térmico	49
2.4.1	ABNT NBR 15220	49
2.4.2	ABNT NBR 15575	50
2.5	Isolamento térmico em edificações	53

2.5.1 Soluções construtivas para isolamento térmico de paredes.....	55
2.5.2 Sistema ETICS	57
3 METODOLOGIA.....	65
3.1 Tipo de pesquisa.....	66
3.2 Protótipos.....	66
3.2.1 Localização.....	68
3.2.2 Estrutura dos protótipos.....	69
3.2.3 Equipamentos	69
3.3 Execução do sistema ETICS.....	71
3.3.1 Materiais componentes do ETICS	72
3.3.2 Suporte.....	73
3.3.3 Perfil de arranque.....	73
3.3.4 Material isolante térmico – Placas de EPS	75
3.3.5 Camada de base armada com tela de fibra de vidro	79
3.3.6 Acabamento	81
3.4 Avaliação do desempenho térmico.....	82
3.5 Quantificação da economia de energia.....	84
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	85
4.1 Desempenho Térmico.....	85
4.2 Transmitância Térmica	86
4.2.1 Protótipo 3	86
4.2.2 Protótipo 4 – ETICS	88
4.3 Carga Térmica	90
4.4 Comparativo de temperaturas.....	96
4.4.1 Comparativo de protótipos com ocorrência de ventilação	96
4.4.2 Comparativo de temperaturas com P4 ETICS com janelas vedadas.....	98
4.5 Consumo de energia	101
4.5.1 Protótipo 3	101
4.5.2 Protótipo 4 - ETICS	104
4.6 Resumo de cálculos térmicos	106
4.7 Custos do ETICS e tempo de retorno do investimento	107
4.7.1 Custos.....	107
4.7.2 Tempo de retorno do investimento	108
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
REFERÊNCIAS.....	112
ANEXOS.....	115

1 INTRODUÇÃO

Em 2001, as ameaças de apagão no setor de energia elétrica e o racionamento imposto a sociedade brasileira, foram o marco para promulgação a Lei n.º 10.295, de 17 de outubro de 2001, que estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e o Decreto n.º 4.059, de 19 de dezembro de 2001, deu início ao incentivo de pesquisas e estudos sobre eficiência energética de edificações, para criação de padrões de referência para a eficiência energética em edificações (CARLO, 2008).

Segundo dados do relatório final do Balanço Energético Nacional (Ministério das Minas e Energia, 2014), o setor residencial apresentou crescimento de 6,2% no consumo final de energia comparado ao ano anterior. Somados, os setores residencial, comercial e público consomem 41,1% do total da energia produzida no Brasil, demonstrando a necessidade de soluções técnicas para frear o consumo energético nestes setores.

Para fins de uso de iluminação e condicionamento de ar, edifícios públicos e comerciais, consomem em média 64% da energia elétrica total da edificação, subindo até 86% em escritórios e bancos, em locais de clima quente (CARLO, 2008 *apud* GELLER, 1991).

De acordo com outros estudos realizados demonstra-se que o consumo energético da edificação tem como maior potencializador o sistema artificial de condicionamento térmico do ambiente, responsável por 48% em edificações públicas e comerciais, chegando a 59% do consumo de energia elétrica no setor residencial (KAEHLER et al., 2007).

Antes das tecnologias de climatização surgirem no mercado e se tornarem comuns, o conforto térmico era obtido de outras formas pelos construtores. Desde os primórdios da humanidade o conforto térmico é um fator essencial para a vida, portanto sempre se buscaram alternativas que atendessem esta necessidade. Na Roma Antiga, as habitações dos nobres já possuíam sistemas para aquecimento dos ambientes. Nos EUA, mais especificamente na região do Colorado as construções eram feitas em local protegido do sol pelas encostas de pedra, sombreando a incidência de raios solares no verão quente e seco da região. Nas aldeias árabes as habitações eram construídas com fachadas quase cegas e poucas aberturas para proteção das tempestades de areia e incidência solar intensa (LAMBERTS, 2004).

Para o mesmo autor, temos vários exemplos por todo território mundial, de habitações antigas já pensadas em sua arquitetura, para o aproveitamento de recursos naturais e de materiais construtivos para o melhor conforto do ambiente. Porém com a revolução industrial, o surgimento do concreto armado e um elenco de novos materiais, e posteriormente da arquitetura *Clean* que tem como característica as imensas cortinas de vidro nas edificações comerciais, criou-se um estilo de edifício “estufa”, pois a tendência predominou em todo o mundo e não foi adaptada ao clima de cada região. Sistemas de iluminação e de climatização artificial começaram, neste período, a ser amplamente utilizados porque davam ao projetista uma situação cômoda em relação à adequação da edificação ao clima, impactando na alta demanda de energia voltada para os edifícios, iniciando um processo constante de aumento de produção de energia no mundo.

Com a popularização dos sistemas de condicionamento térmico de ambientes, como os aparelhos de ar condicionado e aquecedores elétricos, e a oferta imensa e de baixo custo de energia até então disponibilizada em território brasileiro, os conceitos de projetar a edificação pensando na utilização de recursos naturais e na utilização de materiais benéficos à conservação de calor foram sendo minimizados na construção civil, sendo deixada em segundo plano já que os aparelhos eletrônicos facilitavam a climatização dos ambientes, independentemente da forma arquitetônica e da orientação solar do edifício.

No entanto, conforme o mundo evolui as necessidades e alternativas também sofrem transformações. O clima sempre deve ser um condicionante na construção civil, portanto, a orientação solar, a forma, os materiais e sistemas construtivos, alternativas de produção e conservação de energia, devem ser analisados para que se tenha uma construção racional, que

utilize os recursos naturais disponíveis e que esteja inserida nas necessidades atuais, destacando a eficiência energética nas edificações.

Em países desenvolvidos como EUA, Portugal, Alemanha e Austrália, a falta de recursos naturais, principalmente de recursos hídricos, e o alto consumo energético no setor de edificações fizeram com que fossem elaboradas normas, regulamentações e programas de eficiência energética de edificações. É interessante conhecer a técnica e a prática legal que estes países utilizaram para aprovar e implementar suas políticas de eficiência energética (CARLO, 2008).

Tomando como base um país desenvolvido, em Portugal, segundo Vila Real (1990) não havia o hábito de isolar termicamente até a década de 90, pois aos produtores imobiliários não interessava aplicar o isolamento térmico, acarretando em um custo maior da construção, para a redução do consumo de energia do cliente, pois não se teria vantagem econômica com isto. Porém esta situação no início dos anos 90 começou a alterar-se devido ao surgimento de muitas empresas de construção, gerando uma grande oferta imobiliária e grande concorrência. Assim, o excesso de produto no mercado aliado a concorrência, levou os construtores a apostarem na qualidade do produto, em soluções construtivas diferentes, começando pelo tratamento térmico das edificações, aliando as necessidades de mercado com a crise energética para impulsionar este conceito.

Um dos recursos utilizados para conservação de energia em países desenvolvidos foi a aplicação de isolamento térmico pelo exterior, constatado pela primeira vez em meados da década de 40, na Suécia. Este sistema, designado *External Thermal Insulation Composite System* (ETICS) começava assim a entrar no mercado europeu, principalmente em países de clima frio, posteriormente migrando para a América do Norte, onde também, nos anos 70, se firmou como alternativa de isolamento térmico eficiente na construção civil (MOURA, 2012).

Visando atingir o conforto térmico do ambiente, com o menor consumo de energia possível, o isolamento térmico de edificações através de materiais isolantes nas coberturas e envoltória do edifício ou paredes de pano duplo com caixas de ar, apresenta-se como fator fundamental para aplicação do conceito de eficiência energética (MASCARÔ e MASCARÔ, 1992).

O presente estudo se enquadra no âmbito de pesquisa experimental, sendo apresentada uma revisão teórica dos temas pertinentes ao trabalho e posteriormente a execução do experimento, ocorrendo a aplicação de um sistema de isolamento térmico denominado ETICS em um protótipo.

De acordo com o Chemin (2015, p. 61) *apud* Gil (2006) “Pesquisa experimental: consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definir as formas de manipulação, controle e observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência da utilização de isolamento térmico pelo exterior em fachadas de edificações, em relação à redução do consumo de energia da edificação para obtenção do conforto térmico do ambiente, através da comparação de dois protótipos idênticos, porém sendo um com isolamento térmico tipo ETICS e outro sem nenhum isolamento nas fachadas. Ambos os protótipos estão localizados no município de Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil.

1.1.1 Objetivos específicos

- ✓ Aplicar isolamento térmico nas fachadas pelo exterior no sistema ETICS, em um protótipo para avaliar a influência do sistema em relação à mudança na temperatura interna do ambiente e comparar a outro protótipo idêntico, porém sem isolamento térmico.
- ✓ Quantificar a energia necessária para atingir o conforto térmico em cada um dos protótipos, comparando-os;
- ✓ Quantificar os custos da aplicação do sistema ETICS e a redução no consumo energético do protótipo isolado.

1.2 Justificativa

Observando a atual situação mundial, e principalmente a brasileira, de produção e demanda de energia e dos impactos ambientais causados pelo alto consumo energético nas edificações, projeta-se a importância da qualificação da construção civil, desde a racionalização e controle tecnológico das obras até as diversas alternativas para a menor necessidade de demanda de energia elétrica das edificações. Tendo em vista as altas temperaturas no verão e o frio intenso do inverno presentes em determinadas regiões do território brasileiro, vê-se a necessidade de isolar as edificações das temperaturas externas, para possibilitar o conforto térmico do ambiente sem grandes consumos de energia, não só isolando a cobertura como é comum no Brasil, mas também as paredes e elementos estruturais, sendo esta uma técnica construtiva ocorrente há décadas em países desenvolvidos, porém ainda pouco utilizada na construção civil brasileira, justificando assim o desenvolvimento do presente trabalho. A produção do mesmo também se justifica pela falta de trabalhos acadêmicos que abordem o isolamento térmico de fachadas pelo exterior, sistema ETICS.

1.3 Estrutura

O presente trabalho tem em seu segundo capítulo, uma revisão teórica relativa à física das construções, abrangendo fundamentos de transferência de calor, propriedades térmicas dos materiais e sua aplicação na construção civil.

Posteriormente, é abordado o conforto térmico, seu conceito e a relação Umidade x Temperatura, os sistemas utilizados para obtenção do mesmo, com ênfase no condicionamento de ar por ser o sistema mais utilizado no Brasil.

Dando sequência ao referencial teórico, é abordada a eficiência energética, com uma breve introdução ao consumo de energia elétrica no Brasil e no mundo, a demanda necessária para os diversos setores da economia, os impactos ambientais causados pelo aumento da produção e consumo, e a legislação, regulamentos, normas e acordos de países objetivando a redução do consumo e da emissão de gases poluentes. Destacam-se os principais fatores construtivos e de uso que influenciam no consumo de energia da edificação e as alternativas já utilizadas em grande escala em países desenvolvidos para atingir a eficiência necessária.

A seguir o texto é direcionado a aspectos relacionados a sistemas de isolamento térmico, com um breve histórico, diferentes tipos de materiais e suas propriedades, e também as diversas formas de aplicação dos materiais isolantes na edificação, dando ênfase a apresentação do sistema ETICS.

A metodologia do trabalho é proposta no capítulo três, onde é apresentada a forma de desenvolvimento do estudo e da aplicação do sistema de isolamento térmico ETICS nos protótipos, as medições, equipamentos e cálculos que serão utilizados para cumprimento dos objetivos do trabalho.

No capítulo quatro são expostos os resultados relativos ao estudo, tanto dos cálculos elaborados quanto das medições de temperatura obtidas através de sensores e outros equipamentos utilizados. Ocorre também a análise de gráficos e comparativos de resultados.

Por fim, no capítulo cinco apresenta-se a conclusão do autor sobre o presente estudo, baseado nas pesquisas bibliográficas, e nos resultados da aplicação do ETICS.

1.4 Delimitações do presente trabalho

O presente trabalho aborda a aplicação de isolamento térmico em fachadas, com ênfase no sistema ETICS, devido à carência de projetos e trabalhos nesta área no Brasil. O estudo restringe-se à influência da aplicação de isolamento das fachadas na eficiência energética da edificação, sem análise térmica de componentes como a cobertura, laje térrea, vidros e aberturas.

Procura-se quantificar a redução do consumo de energia para fins de conforto térmico em um protótipo residencial construído no município de Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil.

A avaliação da aplicação do sistema ETICS em um protótipo resultou em parâmetros para comparação com outro protótipo similar localizado no mesmo terreno, mas que não possui nenhum tipo de isolamento térmico.

1.5 Cronograma

De acordo com os objetivos e etapas a serem cumpridas para realização do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do autor, apresenta-se dois cronogramas com as atividades e metas para o decorrer do primeiro semestre do ano letivo de 2015, referente ao TCC I, e também para a continuação do estudo, na etapa II do trabalho, no segundo semestre deste ano.

Quadro 1 - Cronograma do TCC I

CRONOGRAMA - TCC I (SEMESTRE 2015A)					
METAS	Fev.	Mar.	Abril	Mai	Jun.
Coleta de material bibliográfico, leitura e fichamento	x	x			
Redação do 1º capítulo		x	x		
Redação do 2º capítulo			x	x	
Redação do 3º capítulo				x	
Redação das considerações finais					x
Revisão da redação final e das normas técnicas					x
Entrega da versão definitiva					x

Fonte: Adaptado pelo autor com base no Manual de Trabalhos Acadêmicos da Univates, 2015.

Quadro 2 - Cronograma do TCC II

CRONOGRAMA - TCC II (SEMESTRE 2015B)						
METAS	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.
Projeto e orçamento	x					
Compra dos materiais e execução do isolamento térmico		x				
Recolhimento e análise de dados		x	x	x	x	x
Redação do capítulo - Procedimentos e Execução			x	x		
Redação dos capítulos – Resultados e Conclusão				x	x	x
Revisão da redação final e das normas técnicas					x	x
Entrega da versão definitiva						x

Fonte: Adaptado pelo autor com base no Manual de Trabalhos Acadêmicos da Univates, 2015.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico a seguir apresenta assuntos ligados diretamente ao objetivo principal do presente trabalho, como fundamentos de física aplicada à construção, referentes à transferência de calor e conforto térmico, a situação energética nacional e mundial, a demanda requerida pelas edificações no Brasil, principalmente ligada a climatizadores de ambientes, a eficiência energética como ferramenta de evolução tecnológica e sustentável da construção civil, e o foco do estudo que se dá no isolamento térmico para redução do consumo energético da edificação, demonstrando aspectos construtivos da aplicação de isolamento térmico pelo exterior de fachadas, denominado sistema ETICS.

2.1 Física Aplicada à Construção

A seguir são apresentados conteúdos relacionados à Física aplicada à construção civil, enfatizando assuntos que são fundamentais para o entendimento da pesquisa, como fundamentos de transferência de calor, os materiais construtivos e isolantes, e suas propriedades térmicas. É importante salientar a relevância do conhecimento sobre os processos básicos de transferência de energia térmica para a construção civil, tendo em vista a necessidade de melhorar o conforto térmico, otimizando os custos com energia elétrica.

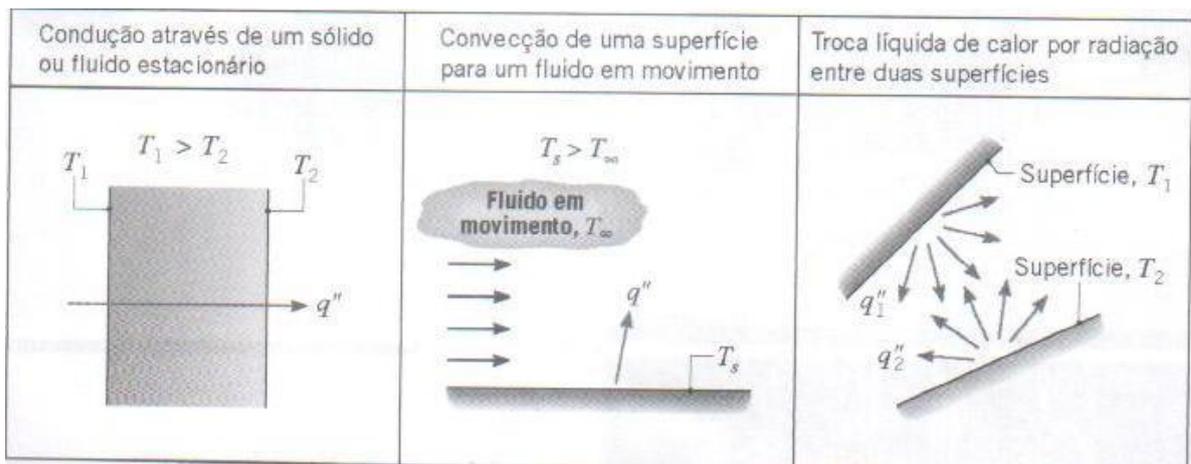
2.1.1 Transferência de Calor

Ocorrendo diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta tende a desaparecer naturalmente, através do fluxo de calor de uma região para a outra. O conjunto de fenômenos que caracterizam esta passagem de calor é denominado transmissão de calor, que pode ocorrer por três processos diferentes, convecção, radiação e condução, sendo a ocorrência de todos condicionada à diferença de temperatura entre duas regiões e a direção do fluxo térmico no sentido das temperaturas decrescentes (COSTA, 2003).

Segundo Incropera et al., (2011, p.2), a transmissão ou transferência de calor pode ser descrita sucintamente da seguinte forma, “A transferência de calor (ou calor) é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço”.

Para os mesmos autores, fundamentalmente existirá transferência de calor sempre que houver diferença de temperaturas em um meio ou entre meios. A figura a seguir demonstra com simplicidade as três formas de transferência de calor, condução, convecção e radiação.

Figura 1 - Transmissão de calor por condução, convecção e radiação.



Fonte: Incropera et al., 2011, p. 2.

2.1.1.1 Condução

É a passagem de Calor de uma zona para outra de um elemento em íntimo contato devido ao movimento das moléculas dos corpos, sem a ocorrência de deslocamentos materiais no sistema (COSTA, 2003).

O mesmo autor também define que “A transmissão de calor por condução obedece a chamada Lei de Fourier, segundo a qual o fluxo térmico é diretamente proporcional à superfície através do qual se verifica a passagem de calor e ao gradiente de temperatura” (COSTA, 2003, p. 66).

Para um caso comum na construção civil, a propagação de calor unidirecional e permanente em uma parede plana de faces paralelas é calculada através da equação de Costa (2003, p.66) a seguir.

$$Q = kS \frac{\Delta t}{l} \quad (\text{kcal/h})$$

Onde:

k = condutividade térmica do material (kcal/m.°C)

S = área na qual se dá a passagem de calor (m²)

Δt = diferença de temperatura entre as faces da parede (°C)

l = espessura da parede (m)

2.1.1.2 Convecção

Para Quites e Lia (2000, p.9, texto digital) “A convecção pode ser definida como o processo pelo qual energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada de: condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura”.

Para Schmidt et al. (2004, p.10), “transferência de calor por convecção é a transferência de energia entre um fluido e uma superfície sólida”.

Costa (2003) define que a convecção resulta da movimentação microscópica das partículas dos fluidos, enquanto a condução é resultado da movimentação das moléculas.

Assim, entende-se que a transmissão de calor por convecção pura não existe na prática, dependendo também da intervenção da condução para sua ocorrência, podendo assim ser calculada pela equação de Costa (2003):

$$Q = \alpha_c S \Delta t \quad (\text{kcal/h})$$

Onde:

S = Área superficial do corpo em contato com o fluido (m^2)

Δt = Diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

α_c = Coeficiente de transferência de calor por convecção ($\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^{\circ}\text{C}}$)

2.1.1.3 Radiação

Radiação é a energia emitida por um corpo detentor de uma temperatura não nula. A emissão de radiação pode ocorrer a partir de superfícies sólidas, de gases e líquidos. A radiação não necessita de um meio material, sendo sua transferência mais eficiente no vácuo, se distinguindo da transferência de calor por condução e convecção que depende da presença de matéria (INCROPERA et al., 2011).

A emissão de calor por radiação por corpos opacos é explicada pela teoria eletromagnética. Um corpo que troca energia com o ambiente absorve parte dessa energia e reflete outra parte. A energia absorvida aumenta a amplitude da oscilação dos elétrons. Essa energia absorvida tende a elevar a energia interna do corpo, o que se manifesta como aumento da temperatura. Segundo a previsão da teoria eletromagnética clássica, partículas eletricamente carregadas (os elétrons) e aceleradas tendem a emitir radiação, o que faz diminuir a energia interna do corpo e restabelece o equilíbrio térmico (GONZATTI, 2015, nota de aula).

Para Schmidt (2004, p.11) “A transferência de energia por ondas eletromagnéticas é chamada de calor por radiação”, sendo que qualquer material a uma temperatura superior ao zero absoluto vai irradiar energia.

Conforme Costa (2003), podemos calcular o calor transmitido por radiação através de expressão similar àquela utilizada para o calor transmitido por condução externa, conforme equação a seguir.

$$Q = \alpha_i S \Delta t \quad (\text{kcal/h})$$

Onde:

S = Área superficial do corpo exposto a radiação (m^2)

Δt = Diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

α_i = Coeficiente de transferência de calor por radiação ($\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^{\circ}\text{C}}$)

2.1.1.4 Troca de calor entre fluidos separados por uma parede opaca

Enfatizando o objetivo do presente estudo, que se dá no isolamento de fachadas pelo exterior, a troca de calor entre fluidos separados por uma parede é de extrema relevância para compreensão e análise do presente trabalho. Nas palavras de Costa (2003), a transmissão ocorre assim:

Quando dois fluidos, a temperaturas diversas, são separados por uma parede, o calor se transmite do fluido cuja temperatura é mais elevada por condutividade externa e radiação à parede, para, a seguir, atravessar a parede por condutividade interna e, finalmente, passar novamente da parede ao segundo fluido por condutividade externa e radiação (COSTA, 2003, p. 80).

Já de acordo com Frota e Schiffer (2007), o comportamento térmico da construção depende do desempenho dos elementos da envoltória, pois estes estão expostos a radiação solar e, por isso, obtêm ganho térmico que varia em função das características térmicas dos materiais e da intensidade da radiação incidente na edificação. Nas construções o que ocorre é a exposição das fachadas, sendo que podem conter elementos classificados como opacos (paredes de alvenaria, concreto, concreto armado, estruturas metálicas, etc.), transparentes ou translúcidos (vidros).

Verificou-se que Frota e Schiffer (2007) apresentam uma equação (FROTA e SCHIFFER, 2007 p. 42) para determinação da intensidade do fluxo térmico que atravessa uma parede opaca, por efeito da radiação solar e da diferença de temperatura dos ambientes externo e interno, expressa a seguir.

$$q = \frac{K\alpha I_g}{h_e} + K(t_e - t_i) \quad (\text{W/m}^2)$$

Onde:

α = Coeficiente de absorção da radiação solar

t_e = Temperatura do ar externo (°C)

t_i = Temperatura do ar interno (°C)

K = Coeficiente total ou global de transmissão de calor ($\frac{W}{m^2 \cdot C}$)

I_g = Intensidade da radiação solar incidente global (W/m²)

h_e = Coeficiente de condutância térmica superficial externa (W/m².°C)

De acordo com as equações vistas em diferentes bibliografias, considerou-se mais aplicável para o presente trabalho, a utilização da equação de Frota e Schiffer, por ter em sua composição a intensidade de radiação incidente, possibilitando assim uma verificação mais real da situação de desempenho térmico da edificação quanto a sua localização e área de insolação. Nesta equação, o fator I_g , - Intensidade da radiação solar incidente global - engloba parâmetros como a latitude do local e a época do ano em que está ocorrendo a insolação para produzir as tabelas de intensidade de radiação incidente (Frota e Schiffer, 2007, p.217), que são fatores relevantes na análise do desempenho térmico dos materiais. No caso dessa pesquisa, há uma variação significativa da insolação média entre os solstícios de inverno e verão, para a latitude de ~ 30°S. Portanto, optou-se por essa equação que considera tais parâmetros para modelar as trocas térmicas entre os meios externo e interno.

2.1.2 Condutividade Térmica

De acordo com a definição da NBR 15220 (ABNT, 2003) a condutividade térmica é uma “Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m², quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro”. A Norma ainda designa à condutividade térmica a unidade W/(m.K) e o símbolo λ .

Para outros autores, como Costa (2003) e Icropera et al. (2011) a condutividade térmica ou coeficiente de condutibilidade térmica é indicada pelo símbolo k .

Segundo Icropera et al. (2011, p.39) a propriedade térmica do material, denominada condutividade térmica é uma propriedade de transporte de energia e indica a “taxa na qual a energia é transferida pelo processo de difusão. Ela depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que está relacionada ao estado da matéria”.

A condutividade térmica e outras propriedades de materiais utilizados na construção civil e de materiais isolantes térmicos estão expostas na NBR 15220-2, Tabela B.3 do Anexo B (ABNT, 2005).

2.1.3 Carga Térmica

Creder (2004, p.88) define a carga térmica como “a quantidade de calor sensível e latente, geralmente expressa em BTU/h^1 ou kcal/h que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar condições de conforto desejadas”.

A carga térmica de aquecimento (inverno) é a quantidade de calor que determinado ambiente demanda para manter a temperatura t_r (temperatura do recinto) dentro dos padrões de conforto térmico do mesmo (COSTA, 2003).

Costa (2003) também cita que para o resfriamento (verão), a carga térmica é a quantidade de calor que deve ser fornecida ou retirada do ambiente a fim que estes tenham condições de conforto térmico.

Para determinar a carga térmica total de um ambiente, é necessário aplicar várias equações, dentre elas, as citadas anteriormente como transferência de calor por condução, carga devida à insolação (radiação) e também, carga devida às pessoas no ambiente, equipamentos, cargas devidas à iluminação, infiltração de ar e carga devida à ventilação. Assim a carga térmica total será o somatório de todas as cargas citadas anteriormente mais 10% de margem de segurança (CREDER, 2004).

¹ BTU/h - British therm unit (Unidade de potência britânica). 1BTU/h = 0,251996 kcal/h

² A patologia “degradação ao nível do r/c” indicada na Figura 20 é o termo utilizado no português de Portugal para referir-se a degradação ao nível do pavimento térreo da edificação no português do Brasil.

Atualmente para simulação da carga térmica de edifícios, os engenheiros estão utilizando o software *Energy Plus*, porém esta ferramenta não será considerada no presente estudo.

2.1.4 Resistência Térmica

A resistência total de um elemento é o somatório de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais, interna e externa (COSTA, 2003).

A resistência corresponde à dificuldade de transmissão de calor em um determinado material, ou seja, quanto menor for a condutividade térmica e maior a espessura do material, maior resistência térmica haverá. A Agência Regional de Energia e Ambiente Autónoma da Madeira (AREAM, Portugal) apresenta uma tabela (Figura 2) com materiais utilizados para isolamento térmico de edificações, comparando-os conforme a espessura de cada material.

Figura 2 - Resistência térmica de materiais isolantes conforme espessura

Espessura do isolamento térmico (cm)	Poliestireno extrudido (XPS)	Poliestireno expandido (EPS 100)	Lã de rocha	Aglomerado de cortiça	Argamassa de reboco para isolamento térmico (tipo ISODUR)
3	0,86	0,83	0,79	0,75	0,33
4	1,14	1,11	1,05	1,00	0,44
5	1,43	1,39	1,32	1,25	0,56
6	1,71	1,67	1,58	1,50	0,67
7	2,00	1,94	1,84	1,75	0,78
8	2,29	2,22	2,11	2,00	0,89
9	2,57	2,50	2,37	2,25	1,00
10	2,86	2,78	2,63	2,50	1,11
11	3,14	3,06	2,89	2,75	1,22
12	3,43	3,33	3,16	3,00	1,33
13	3,71	3,61	3,42	3,25	1,44
14	4,00	3,89	3,68	3,50	1,56
15	4,29	4,17	3,95	3,75	1,67

Fonte: AREAM, Cálculo de Resistência de materiais isolantes para edifícios, texto digital.

Para a aplicação do presente estudo, o cálculo da resistência térmica foi elaborado conforme NBR 15220 (ABNT, 2005) que define que a resistência térmica de um elemento

pode ser calculada pela relação entre sua espessura e condutividade térmica, conforme equação a seguir.

$$R = e / \lambda \quad (\text{m}^2.\text{K}/\text{W})$$

Onde:

R = Resistência térmica do elemento ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)

e = Espessura da camada (m)

λ = coeficiente de condutividade térmica do material ($\text{W}/\text{m.K}$)

Para autores como Costa (2003), Incropera et al. (2011) entre outros, o coeficiente de condutividade térmica do material é designado pelo símbolo k , porém as Normas brasileiras referentes a desempenho térmico utilizam o Lambda (λ), que será utilizado na aplicação do presente estudo a fim de seguir estas Normas.

À resistência total de uma parede acrescenta-se também a resistência superficial do ar interna e externa, definida no Anexo A da NBR 15220-2 (ABNT, 2005), conforme reprodução da tabela A.1 da referida norma, apresentada a seguir.

Figura 3 - Resistência superficial do ar

R_{si} ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)			R_{se} ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT NBR 15220-2, Tabela A.1, Anexo A, 2005.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) determina que a resistência térmica de elementos construtivos deve ser medida conforme ABNT NBR 6488 ou calculada conforme ABNT NBR 15220-2, tomando-se por base valores de condutividade térmica medidos de acordo com a ASTM E903-96.

2.1.5 Transmitância Térmica ou Coeficiente Global de Transmissão Térmica

Conforme definição do Regulamento Técnico de Qualidade para Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQR (INMETRO, 2012), a transmitância térmica é:

A transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências superficiais, interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica deve ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220-2 ou determinada através do método da caixa quente protegida da NBR 6488 (RTQR, 2012, p. 13).

Segundo Frota e Schiffer (2007), a transmitância térmica é definida como:

[...] trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas através do material (por condução). Portanto, engloba as trocas de calor referentes a um determinado material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutividade térmica, a posição horizontal ou vertical, e ainda, o sentido do fluxo (FROTA & SHIFFER, 2007, p.38).

A transmitância térmica é composta do somatório dos coeficientes de transmissão de calor externo (ambos os lados da parede, externo e interno da edificação, em contato com fluido) e do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais utilizado na parede, normalmente tijolo e argamassa (COSTA, 2003).

Para o presente estudo, são consideradas as normativas e cálculos da NBR 15220-1 (ABNT, 2005) que define a transmitância térmica, como o inverso da resistência térmica total, representada pelo símbolo U .

Na parte 2 da Norma citada no parágrafo anterior, é apresentado o cálculo da transmitância térmica de uma parede, fazendo uma relação com a resistência dos materiais empregados, sendo equacionado assim:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (\text{W/m}^2.\text{K})$$

Onde:

U = Transmitância Térmica

R_t = Resistência total do elemento

Também de acordo com a Norma 15220 (ABNT, 2005), desmembrando a equação anterior, para demonstração mais clara da mesma têm-se a equação a seguir, que será utilizada para o cálculo de transmitância térmica na prática deste estudo, que ocorre no TCC II.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + \sum R + R_{se}} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$$

Onde:

R_t = Resistência térmica total (m².K)/W

R_{si} = Resistência Superficial interna (m².K)/W

R_{se} = Resistência superficial externa (m².K)/W

R = Resistência térmica de elementos e componentes (m².K)/W

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) no ANEXO GERAL V, na portaria nº 50 do ano de 2013, apresenta o catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros, utilizados na construção civil, onde se pode verificar a variação das características conforme materiais e espessuras utilizadas. Parte do catálogo, referente a propriedades térmicas de paredes segue junto ao presente trabalho no Anexo A.

2.2 Conforto Térmico

A NBR 15520 (ABNT, 2005, p.5) define conforto térmico como “Satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”.

De acordo com Frota e Schiffer (2008), a influência de um ambiente termicamente confortável sobre o rendimento no trabalho teve seu primeiro estudo oficial desenvolvido pela Comissão Americana de Ventilação em 1916, visando os interesses de produção estabelecidos na Revolução Industrial e também à situações relacionadas a guerras, devido ao deslocamento de tropas par locais de diferentes climas.

Os estudos elaborados apresentaram os seguintes dados (Frota e Ramos, 2008):

- ✓ Para o trabalho físico, o aumento da temperatura ambiente de 20°C para 24°C diminui o rendimento em 15%.

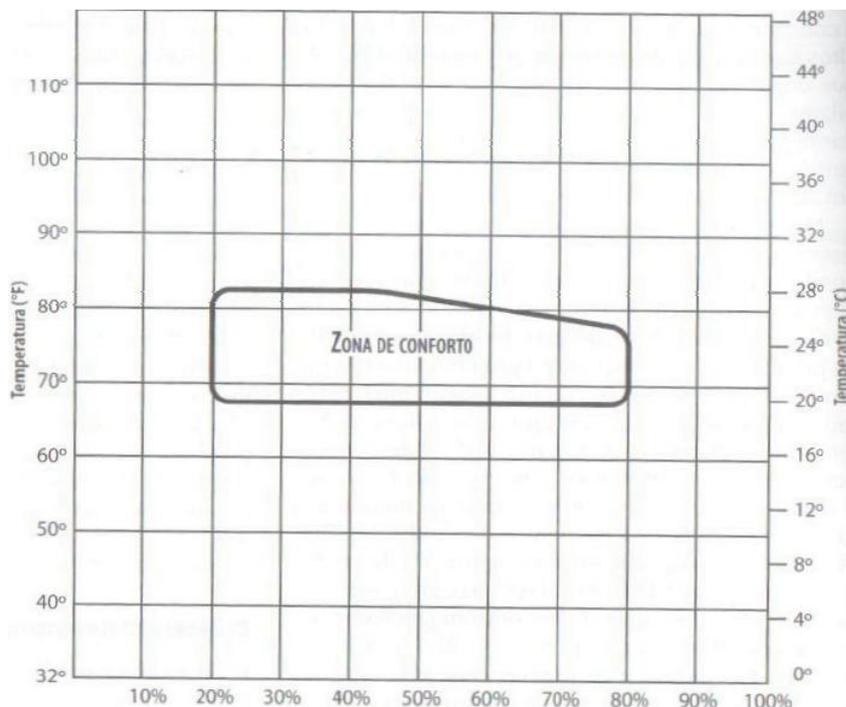
- ✓ A 30°C de temperatura ambiente, com umidade relativa 80%, o rendimento cai 28%.

Em uma perspectiva similar, o conceito de conforto térmico é definido por Lamberts (2014) da seguinte forma:

Conforto térmico, tomado como uma sensação humana se situa no campo subjetivo e depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio; já os fatores fisiológicos referem-se a alterações na resposta fisiológica do organismo, resultantes da exposição contínua a determinada condição térmica; e finalmente os fatores psicológicos, que são aqueles que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo (LAMBERTS, 2014, p.3).

Para Costa (2003), a sensação de bem-estar de um indivíduo introduzido em um ambiente é caracterizada pela temperatura e umidade, que definem a temperatura efetiva de um ambiente.

Figura 4 - Zona de Conforto: Umidade relativa do ar x Temperatura



Fonte: Burke; Keeler, 2010, p. 108.

Segundo Lamberts (2014) os estudos relacionados ao conforto térmico procuram estabelecer parâmetros para avaliar as condições térmicas de um ambiente, que sejam adequadas às atividades e ocupação humanas, visando também definir métodos que ampliem a análise das condições térmicas de um ambiente. O estudo de conforto térmico está

relacionado diretamente a três fatores: satisfação do homem, performance humana e conservação de energia.

A satisfação e desempenho, que são fatores ligados diretamente ao corpo humano, sofrem variações de acordo com cada pessoa, pois variam conforme o metabolismo de cada um. O desempenho está ligado diretamente a satisfação, pois quando em um ambiente confortável (satisfatório), atividades manuais, intelectuais e perceptivas tendem a ser realizadas com mais eficiência, enquanto um ambiente com condições térmicas desfavoráveis, o rendimento será afetado negativamente (LAMBERTS, 2014).

A conservação de energia é o único dos três fatores que podemos controlar através de materiais e técnicas construtivas. Conhecendo os parâmetros de conforto térmico dos ocupantes do ambiente, evita-se o consumo desnecessário de energia para climatização artificial, que predomina na atual sociedade em ambientes de longa ocupação.

De acordo com Burke e Keeler (2010), as pessoas exigem um alto nível de conforto térmico mesmo sob condições climáticas extremas, esperando que as edificações atenuem qualquer impacto desfavorável das condições externas.

Para os mesmos autores, até o início do Século XX, as edificações eram estudadas e projetadas visando o conforto térmico, como por exemplo, através de proteções mecânicas e locação das aberturas conforme orientação solar entre outros. Porém, após a Segunda Guerra Mundial com o surgimento de novos materiais como o concreto armado, diferentes tipos de vidros, polímeros entre outros, construção de edifícios em altura com fachadas envidraçadas, denominada arquitetura *Clean*, e o desenvolvimento de sistemas de climatização artificial, como o aparelho de Ar Condicionado, as construções iniciaram um consumo desenfreado de energia para obtenção de conforto térmico do ambiente.

Conforme Burke e Keeler (2010), antes da Revolução industrial, o excesso de calor na edificação era minimizado por projetos bem definidos, nos quais se utilizava sombreamento, circulação de ar e em locais de clima seco por estrutura composta por elementos de massa térmica elevada, onde durante o dia o calor acumulava-se nas paredes e a noite quando a temperatura diminuía as paredes repassavam ao ambiente interno, o calor acumulado.

Figura 5 - Arquitetura Vernacular, fachadas cegas e grandes massas térmicas.



Fonte: Burke e Keeler, 2010, p.122.

Conforme Lamberts (2004), a arquitetura passou a ser influenciada por modelos internacionais, caracterizado pelo formalismo *Clean*, no qual são projetados edifícios de altura com imensas cortinas de vidro. Porém, este símbolo de poder, não sofreu adaptações para os diferentes climas de cada local, criando o chamado edifício estufa, pois não existem proteções mecânicas para sombreamento e nem materiais com bom desempenho térmico para amenizar a radiação solar e o calor vindo do ambiente externo.

Figura 6 – Arquitetura *Clean*, São Paulo, Brasil.

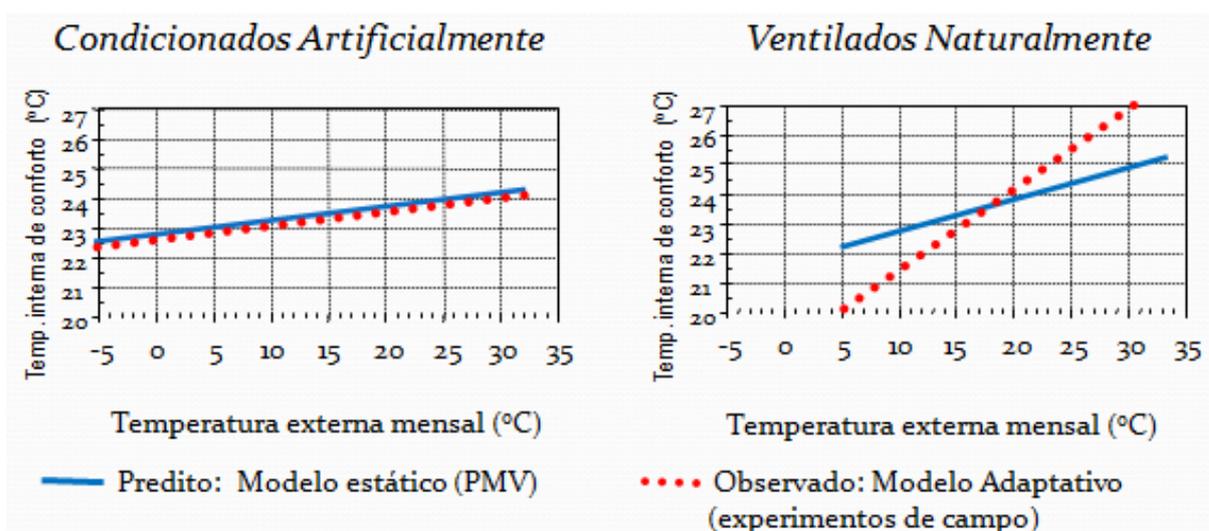


Fonte: ABECE, 2007.

O resultado desta internacionalização de um conceito arquitetônico é a aplicação excessiva de sistemas de climatização artificial de ambientes, sendo o Condicionamento de Ar e a Calefação, os mais utilizados no mundo (MASCARÔ e MASCARÔ, 1992).

Lamberts (2014) apresenta dois gráficos (Figura 6) de limites de temperaturas de conforto térmico em ambientes condicionados artificialmente e em ambientes ventilados naturalmente, sendo comparados em cada um, modelos estáticos e experimentos de campo feitos no estudo.

Figura 7 - Método estático x adaptativo com base no banco de dados da ASHRAE.



Fonte: Lamberts *apud* Humphreys, 2014, p. 11.

O mesmo autor aponta que há uma menor faixa de temperatura de conforto dos usuários em ambientes com sistema condicionado artificialmente quando comparados aos ambientes com climatização natural, fato que pode ser visto na análise dos gráficos apresentados anteriormente.

2.2.1 Relação Temperatura x Umidade Relativa do Ar

“A grande diferenciação que o grau de umidade relativa do ar acarreta nas condições climáticas de um local é quanto a amplitude de temperatura diária. Isto equivale a dizer que quanto mais seco for o clima, mais acentuadas serão suas temperaturas (mínima e máxima)” (FROTA E SCHIFFER, 2007, p. 67).

Os mesmos autores explicam que conforme a umidade do ar, maior será a quantidade de partículas de água no ar. Estas partículas funcionam, durante o dia, como uma barreira de radiação solar que atinge o solo e à noite como barreira para o calor dissipado pelo solo.

Para Costa (2003, p.104) “a temperatura juntamente com a umidade são os responsáveis pelas trocas de calor com o exterior, efetuadas pelo corpo humano e determinam para o ambiente suas características de conforto térmico”.

2.2.2 Condicionamento de ar

O condicionamento de ar é definido pela NBR 16401 (ABNT, 2008, p.2) como “O processo que objetiva controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente. Em certas aplicações controla também o nível de pressão interna do ambiente em relação aos ambientes vizinhos”.

Conforme Costa (2003, p. 201), uma instalação de condicionamento de ar é definida como um “Conjunto de máquinas, canalizações e partes complementares que é capaz de realizar o condicionamento de ar em um ou mais recintos”.

A primeira utilização de condicionamento de ar ocorreu em 1748, quando William Cullen na Glasgow University, experimentou evaporar éter em vácuo parcial. Mas, apenas em 1805 que Oliver Evans, através de um processo similar, conseguiu congelar a água de forma barata. Já no início de 1840, o médico americano John Gorrie utilizou gelo para refrigeração de salas de um hospital na Flórida. Os primeiros edifícios com sistemas de condicionamento de ar foram construídos no Reino Unido e nos Estados Unidos em meados de 1890, e na década de 1930, tais sistemas se firmaram nas novas construções de grandes prédios norte-americanos (ROAF, 2009).

De acordo com o Roaf (2009), foi somente no início da década de 1940 que os sistemas de ar condicionado começaram a ser utilizado em grande escala, tomando como exemplo os hotéis de mais alto padrão que já possuíam ar condicionado em todos seus apartamentos e cômodos.

O mesmo autor considera que a disseminação do sistema de ar condicionado mudou o modo de projetar, gerando certa liberdade aos arquitetos e engenheiros.

O que o condicionamento de ar fez foi liberar os arquitetos e engenheiros para criar edifícios modernos nos quais o clima interno é completamente dissociado do externo. As pessoas estão isoladas em edificações com pele ou fechamento cada vez mais fino e rígido, de tal maneira que elas só podem ser ocupadas se o sistema de condicionamento do ar estiver operando, e precisam ser evacuadas quando as máquinas pararem!(ROAF, 2009, p. 241).

Embora seja comum a utilização do termo refrigeração para definir a retirada de calor de um corpo de maneira geral, Costa (2005, p.18) distingue-a fazendo as seguintes definições:

- ✓ Arrefecimento: Abaixamento da temperatura de um corpo até a temperatura ambiente
- ✓ Resfriamento: Abaixamento da temperatura do ambiente até a temperatura de congelamento (0°C).
- ✓ Congelamento: Abaixamento da temperatura de um corpo aquém da sua temperatura de congelamento.

Conforme o mesmo autor: “A técnica da refrigeração engloba quatro problemas distintos: o da produção, o da distribuição, o da conservação e o da aplicação do frio” (COSTA, 2003, p.18).

Dentro destes quatro problemas, conforme Costa (2003), a conservação de uma temperatura interna inferior a temperatura do ambiente externo depende da resistência térmica das paredes de um sistema, com o objetivo de reduzir o fluxo natural de calor que busca neutralizar as temperaturas dos corpos, e também:

Resistências térmicas elevadas são obtidas por meio de isolamentos térmicos. Assim a técnica de conservação de frio está ligada à construção de ambientes isolados e a problemas relacionados com o cálculo da carga térmica de manutenção da temperatura dos mesmos (COSTA, 2003, p. 19).

Segundo Creder (2004), para projetar o sistema de condicionamento de ar de um edifício, muitos aspectos devem ser considerados, como a orientação solar, fim de ocupação, número de ocupantes, fontes de calor no recinto, iluminação, etc. Estes aspectos estão ligados diretamente à carga térmica do ambiente (item 2.1.3), sendo “[...] a quantidade de calor, expressa em BTU/h ou kcal/h que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar conforto” (CREDER, 2005, p. 88).

As cargas térmicas são proporcionais a condutividade térmica dos materiais que envolvem o sistema, ou seja, em um ambiente envolvido por materiais isolantes, o consumo de energia para climatizar o ambiente é menor comparado a outro ambiente no qual não há

material que amenize a transmissão de calor entre o meio interno e externo, seja por radiação, condução ou convecção.

O consumo de energia de uma instalação de um sistema de ar condicionado pode ser reduzido através de isolamento térmico, por diminuir a potência da instalação e também exigir menos hora de funcionamento dos equipamentos. Esta alternativa aumenta os investimentos iniciais da construção, porém reduz o custo operacional da edificação para toda sua vida útil (MASCARÔ e MASCARÔ, 1992).

2.3 Eficiência Energética em Edificações

O uso racional de energia e sua conservação foram as alternativas que diversos países encontraram para absorver os impactos da crise do petróleo de 1970, já que os custos elevados de produção de energia dificultava a utilização de instalações elétricas ou de calor (calefação) (BALTAR, 2001).

Outros autores também citam a crise do petróleo como marco para a eficiência energética, principalmente em países europeus e Estados Unidos.

A preocupação com a eficiência energética de edificações fortaleceu-se durante a crise do petróleo, na década de 1970, desencadeando o surgimento das primeiras normas relacionadas ao tema. Em 1975, nos Estados Unidos, foi publicada a ASHRAE Standard 90.1 estabelecendo requisitos mínimos de eficiência energética em edificações e, posteriormente, foi utilizada como base para o desenvolvimento de normas, certificações e legislações em muitos países, inclusive no Brasil (ANDREIS, 2014, p. 33).

Segundo Lamberts (2004), eficiência energética define-se na obtenção de uma edificação de alto rendimento, na qual o conforto térmico do ambiente necessite o menor consumo energético para estabelecer-se, destacando que eficiência energética não é sinônimo de racionamento de energia, são dois conceitos totalmente distintos. O mesmo autor também define que “Um edifício quando proporciona das mesmas condições ambientais que outro com menor consumo de energia, é mais eficiente”.

Para Amorim (2012, texto digital) o princípio da eficiência energética é de garantir qualidade, entendida por conforto ambiental, através principalmente de bom projeto arquitetônico, e de equipamentos de climatização, iluminação e tecnologias mais eficientes

possível complementando as condições de conforto que normalmente não podem ser atingidas somente com as características da arquitetura da edificação.

A autora expõe algumas questões relacionadas ao projeto de uma edificação para que se tenham condições de eficiência energética:

- ✓ Implantação: Orientação solar e assentamento no terreno;
- ✓ Forma: Compacidade, superfície exposta e profundidade;
- ✓ Envoltória: Proporção e dimensão das aberturas, elementos de proteção e controle;
- ✓ Materiais da envoltória: Transmitância térmica, isolamento térmico, fator solar;
- ✓ Complementares: Iluminação artificial, condicionamento de ar, controle e automação.

De acordo com Carlo (2008), a eficiência energética está diretamente ligada ao projeto e desempenho térmico da envoltória, juntamente aos equipamentos e uso da edificação.

O consumo de energia em edificações está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pelo envoltório da edificação que, associados à carga interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar, além dos próprios sistemas de iluminação e equipamento (CARLO, 2008, p.3).

Para a mesma autora, existem dificuldades de definição de indicadores de eficiência energética em uma edificação, mesmo tendo amplo conhecimento das variáveis que atuam no consumo. É comum obter parâmetro de consumo através da área edificada (kWh/m²/ano), porém alguns autores já calculam a demanda energética por ocupante (kWh/pessoa/ano). Isso ocorre porque o “[...] consumo de energia a área não representa adequadamente a eficiência, visto que esta pode ter uma grande quantidade de equipamentos ou uso intensivo, e ainda ser eficiente” (CARLO, 2008, p. 28).

2.3.1 A Energia no Brasil e no mundo

De acordo com Goldemberg (2000) o consumo de energia mundial cresce aproximadamente 2% ao ano e poderá dobrar em 30 anos, caso permaneçam as tendências atuais. Em países desenvolvidos o crescimento é de cerca de 1% ao ano, enquanto em países em desenvolvimento chega a 4% ao ano. O investimento no setor gira em torno de 400 bilhões de dólares por ano.

As principais consequências desta evolução são o aumento do consumo de combustíveis fósseis e a resultante poluição ambiental em todos os níveis - local regional e global. Cerca de 85% do enxofre lançado na atmosfera (principal responsável pela poluição urbana e pela chuva ácida) origina-se na queima de carvão e petróleo, bem como 75% das emissões de carbono (GOLDEMBERG, 2000, texto digital, p. 92).

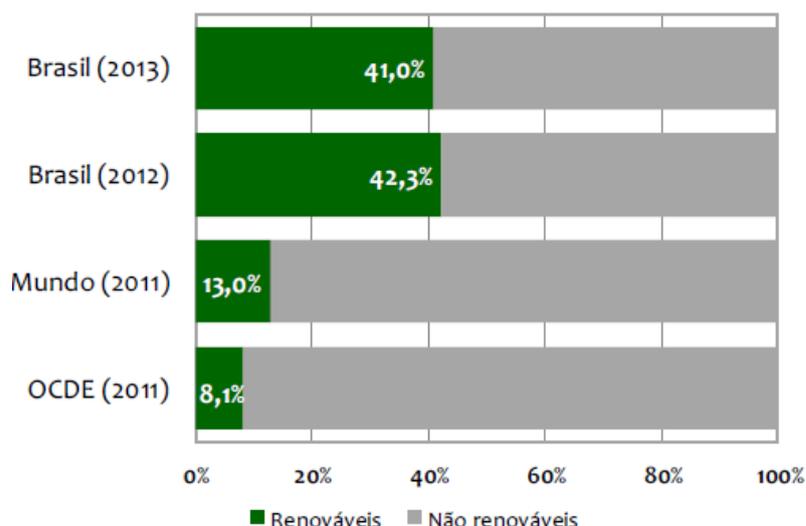
Conforme Roaf (2009), o crescimento da população mundial, juntamente ao desenvolvimento econômico resultou em um rápido aumento de emissão de gases estufa na atmosfera, oriundos principalmente do setor de transportes e posteriormente de edificações.

Para Burke (2010) o uso das edificações e os processos construtivos empregados atualmente na construção civil são os principais responsáveis pela demanda de energia elétrica e produção de gases de efeito estufa gerados a partir de produtos eletrônicos.

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2014 (BEN 2014) apresentado pelo Ministério de Minas e Energia, com base no ano de 2013 a demanda interna do país chegou a 296.2 Mtep, com crescimento de 3,5% perante 2,3% do Produto Interno Bruto (PIB), conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2013).

As fontes de energia que proporcionaram este incremento de produção são o gás natural, petróleo e derivados, devido a menor oferta hídrica e consequente produção das usinas hidrelétricas, que tiveram decréscimo de 5,4% em comparação ao ano anterior, reduzindo a participação de energias renováveis na matriz elétrica nacional de 84,5% para 79,3%. Mesmo assim, o Brasil continua sendo destaque na produção de energia através de fontes renováveis, conforme gráfico elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com base em dados da Agência Internacional de Energia.

Figura 8 - Participação de renováveis na matriz energética



Fonte: EPE, BEN 2014.

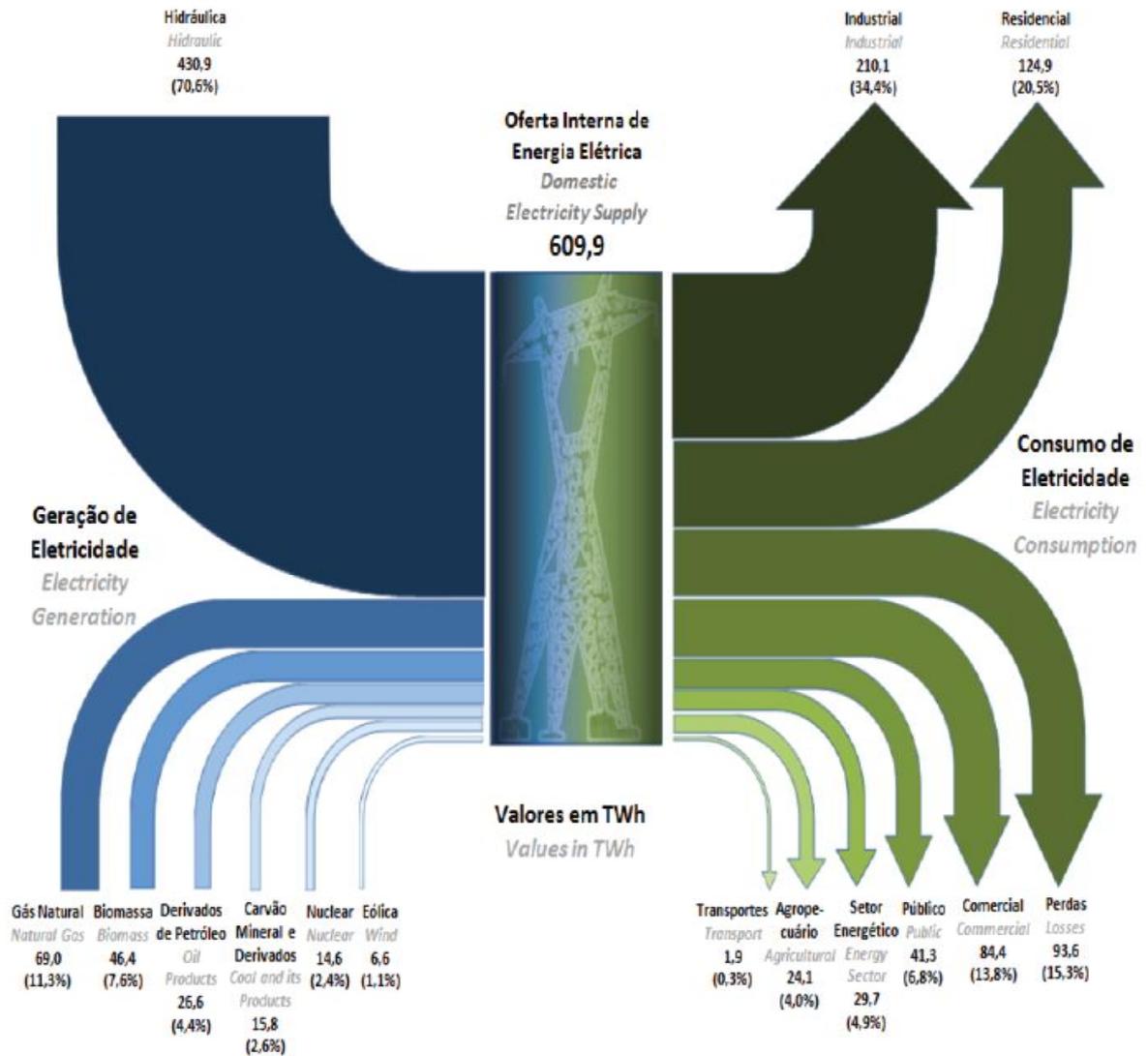
Já em relação ao consumo final de eletricidade no Brasil, foi computado um aumento de 3,6%, onde houve destaque para os setores comercial e residencial, sendo que este crescimento de consumo foi suprimido pela geração térmica, através de carvão mineral (+75,7%), gás natural (+46,6%) e bagaço de cana (+19,2%) (BEN, 2014).

O consumo de energia resulta em emissão de carbono na atmosfera. Conforme dados do BEN (2014), apresenta-se a seguinte situação em comparação com o resto do mundo:

A intensidade de carbono na economia foi de 0,20 kg CO₂/US\$ [2013]. A economia brasileira permanece sendo, em média, 1,25 vezes menos intensa em carbono que a economia europeia, 2 vezes menos do que a economia americana e 4 vezes menos do que a economia chinesa. Em termos de emissões por habitante, cada brasileiro, produzindo e consumindo energia em 2013, emitiu em média 2,3 t CO₂-eq, ou seja, cerca de 8 vezes menos do que um americano e 3 vezes menos do que emite um europeu ou um chinês (BEN, 2014, p. 8).

Em relação ao uso específico de energia elétrica no Brasil no ano de 2013 os setores residencial, comercial e público somaram 41,1% do consumo total do país, conforme fluxo de energia apresentado pelo Ministério de Minas e Energia (BEN, 2014).

Figura 9 - Fluxo de Energia Elétrica no Brasil em 2013



Fonte: BEN, 2014.

Atualmente a população brasileira está mais atenta ao consumo de energia principalmente devido aos aumentos do custo (R\$/kW.h - reais por quilowatt-hora) do ano de 2014 para 2015, e no decorrer deste ano. Consultando o site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e usando o Estado do Rio Grande do Sul e a classe Residencial de consumo como exemplo para verificação do aumento do custo da energia nos últimos anos, apresenta-se as seguintes tarifas energéticas da AES SUL Distribuidora gaúcha de energia S/A desde 2005, conforme Tabela 3.

Tabela 1 - Tarifas energéticas anuais AES SUL

ANO	CUSTO (R\$/ kW.h) MÁXIMO NO ANO	ALTERAÇÃO EM RELAÇÃO AO ANO ANTERIOR (%)
2005	0,2889	
2006	0,2889	0%
2007	0,29117	1%
2008	0,26362	-9%
2009	0,30011	14%
2010	0,29637	-1%
2011	0,31497	6%
2012	0,33135	5%
2013	0,26224	-21%
2014	0,33793	29%
2015	0,48035	42%

Fonte: Adaptado pelo autor com base em dados da ANEEL, 2015.

Pode ser observado que desde 2005 até 2014 o custo da energia elétrica para o consumidor final, sem a computação de impostos como ICMS, PIS/PASEP, COFINS e outros encargos que fazem parte da conta de luz, manteve uma base, havendo pequenos reajustes para mais ou para menos a cada ano. No ano de 2013 para 2014 ocorreu um aumento significativo, porém de 2013 em relação a 2014 houve uma queda na tarifa, praticamente anulando o posterior aumento. Já o atual custo da energia, em Maio de 2015, teve uma grande alta em relação ao ano anterior, registrando um acréscimo de 42% no valor tarifário.

Conforme a ANEEL (2015), esta revisão tarifária de 2015 ocorreu devido a vários fatores, como a falta de chuva que gerou aumento dos custos relativo à compra de energia da Usina de Itaipu e também o aumento da exposição das distribuidoras ao mercado livre,

resultado do último leilão de ajuste, e por fim a aferição de novas cotas de energia hidrelétrica.

O valor atual, novembro de 2015, do kW.h cobrado pela AES Sul com os impostos incluídos é de R\$0,75. Este valor será usado no cálculo de consumo de energia no capítulo 4 deste estudo.

Assim, observando a alta no custo da tarifa energética e sendo a falta de produção energética um dos motivos disto, têm-se duas necessidades básicas para o setor. Produzir mais e consumir menos. Produzir mais, principalmente através de investimentos em energias renováveis como a solar e eólica, e diminuir a demanda necessária no país, sendo que para isso é preciso rever os conceitos da construção civil e o uso das edificações quanto à eficiência energética.

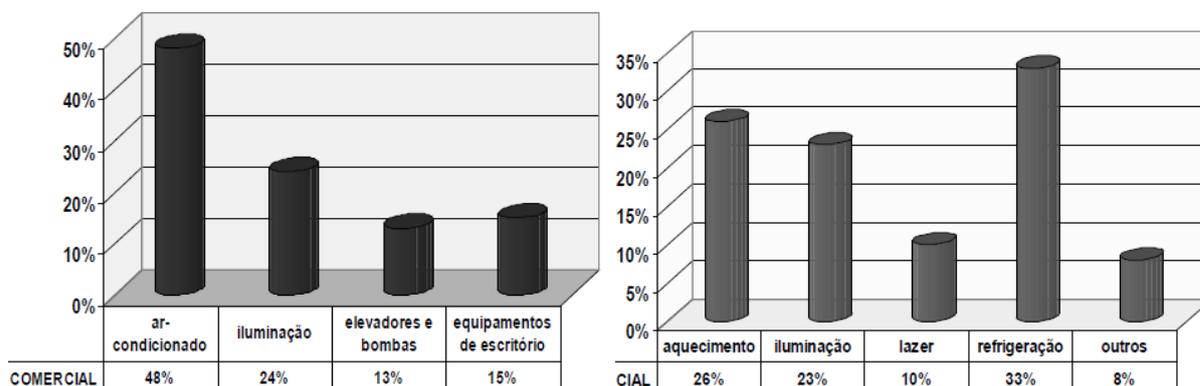
2.3.2 Demanda energética das edificações no Brasil

Conforme visto no item anterior, grande parte (41,1%) da energia elétrica produzida no Brasil, é consumida por edificações, sejam estas, comerciais, públicas ou residenciais.

Segundo Baltar et al. (2001), o principal sistema consumidor de energia das edificações, no Brasil são os sistemas de resfriamento e aquecimento, que compõem cerca de 60% do total gasto em residências e 50% no setor comercial.

O mesmo autor apresenta em seu estudo, dois gráficos (Figura 9) representando os gastos energéticos em edificações comerciais e pública, e residenciais, importantes para visualização dos pontos mais críticos de consumo no Brasil.

Figura 10 - Uso de energia nas edificações Comerciais e Públicas (esq.) e Residenciais (dir.)



Fonte: Baltar et al., texto digital (2001).

Conforme Carlo (2008) *apud* Correia (2007) sobre edifícios comerciais alimentados por alta tensão no Brasil foi identificado que 47% do consumo total das edificações eram resultantes do sistema de condicionamento de ar, 22% pela iluminação e 31% pelas demais necessidades, dados similares aos encontrados quando considerados os edifícios públicos.

A mesma autora, com base em estudos realizados por Mascarenhas et al. (1998), ressalta que em locais de clima quente (estudo feito em Salvador-BA, Brasil) o consumo de energia relacionado ao uso de condicionadores de ar em edifícios comerciais pode chegar a 70%.

Por fim, todas as bibliografias consultadas apontam o ar condicionado e iluminação como os principais pontos consumidores das edificações no Brasil, sendo a climatização artificial de ambientes o elemento com maior gasto energético, indicando a necessidade de intervir nas perdas térmicas dos edifícios para reduzir este consumo excessivo.

2.3.3 Legislação de eficiência energética

Atualmente vários países já possuem suas Regulamentações e Normas técnicas relacionadas á eficiência energética de edificações. Entre eles, se destacam EUA, Hong Kong, Portugal, Alemanha e Austrália. O Brasil teve em 2001, durante o período de racionamento de energia elétrica a primeira publicação de lei voltada ao assunto (CARLO, 2008).

De acordo com CARLO (2008), nos EUA a fim de reduzir a dependência do petróleo internacional foi criado o *Energy Policy Act*, que regularizava o uso de combustíveis fósseis.

Mais tarde, o programa foi ampliado e denominado *Energy Policy and Conservation*, já mais severo, exigindo que os códigos de construção civil dos estados americanos respeitassem a *Standard 90.1* (ASHRAE, 2004), tendo sua última atualização em 2005.

Em 1989, a ASHRAE apresentou sua norma de eficiência energética para edificações exceto para edificações não-residenciais, a *Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* (ASHRAE, 1989), baseada no OTTV (Overall Thermal Transmittance Value), um índice de avaliação da transmissão de calor do ambiente externo para o interno através do envoltório da edificação (CARLO, 2008, p.13).

Outro país que se destaca em relação a normas de eficiência energética é Portugal. O País tem desde 1991 o Regulamento das Características Térmicas de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) que foi aprimorado e derivado em outros dois regulamentos, Regulamento de Desempenho Energético em Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético em Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), que entraram em vigor no ano de 2006.

O Ministério do ambiente, ordenamento do território e energia (Portugal, 2013) também apresentou um programa de certificação energética, Sistema de Certificação Energética (SCE), onde ocorre a classificação de edificações através de níveis de consumo.

O Ministério do ambiente, ordenamento do território e energia, em publicação do Despacho nº15793/2013 de 20 de agosto, a fim de assegurar e promover a melhoria de desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação Energética (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético em Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético em Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Outros documentos que auxiliam os projetos de edificações eficientes existem em Portugal, como o ITE-50 que apresenta os coeficientes de transmissão térmica de elementos do envoltório dos edifícios (LNEC, 2006, texto digital). O ITE-50 tem como objetivo:

[...] apoiar a realização de estudos no âmbito do desempenho térmico dos edifícios e a aplicação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), apresentam-se, sob forma tabular, valores convencionais de cálculo, por um lado, de condutibilidades térmicas de materiais e de resistências térmicas superficiais, de espaços de ar não-ventilados e de alguns elementos opacos de construção (Anexo I) e, por outro lado, dos coeficientes de transmissão térmica de soluções correntes das envolventes opaca (Anexo II) e envidraçada (Anexo III) dos edifícios.

Em termos gerais de construções sustentáveis, se destaca o certificado LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) da U.S Green Building Council (Conselho

de Construções sustentáveis dos Estados Unidos - USGBC). Conforme definição do site da organização no Brasil, o LEED “é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações, utilizado em 143 países, e possui o intuito de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações”. A certificação foi criada em 2000 pelo USBGC no Estados Unidos e implementada no Brasil em 2007.

O LEED qualifica a sustentabilidade da edificação em relação a diversos pontos como eficiência do uso da água e reuso, materiais e recursos para construção e resíduos gerados, inovação e eficiência energética. Em relação a avaliação da eficiência energética, a GBC Brasil faz a seguinte definição em sua plataforma eletrônica:

Energy & atmosphere (Energia e Atmosfera)– Promove eficiência energética nas edificações por meio de estratégias simples e inovadoras, como por exemplo simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas e utilização de equipamentos e sistemas eficientes.

De acordo com o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (Procel Info), em 2009 foi lançado no Brasil o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (RTQ-C). Já em 2010, além da revisão da metodologia de avaliação apresentadas no RTQ-C foi apresentado também o Regulamento para edificações residenciais (RTQ-R). Portanto, desde 2009 o Brasil está inserido no grupo de países que classificam a eficiência energética das suas edificações.

Nestes regulamentos estão especificados os requisitos técnicos e os métodos para avaliação da eficiência energética, que variam conforme o Regulamento a ser utilizado, RTQ-C ou RTQ-R. Aspectos relacionados ao desempenho da envoltória dos ambientes, sistema de aquecimento de água, sistemas de iluminação, ventilação natural e artificial e de equipamentos. A envoltória que é o alvo do presente trabalho é avaliada de acordo com suas propriedades térmicas das paredes e coberturas, aberturas para ventilação e entrada de luz, orientação das fachadas e sombreamento.

Conforme a eficiência individual de cada item, a edificação recebe uma classificação geral, que é ponderada de acordo com o zoneamento bioclimático, variando da mais eficiente possível (A) até a edificação de baixa eficiência (E).

Figura 11 - Níveis de eficiência



Fonte: Manual para aplicação do RTQ-R, fig A.1, 2012.

No endereço digital do INMETRO está disponível uma lista com todas as edificações residenciais, comerciais e públicas etiquetadas pelo programa da Procel. A consulta pode ser feita através do link - www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/residenciais.asp.

2.4 Normas Brasileiras de Desempenho Térmico

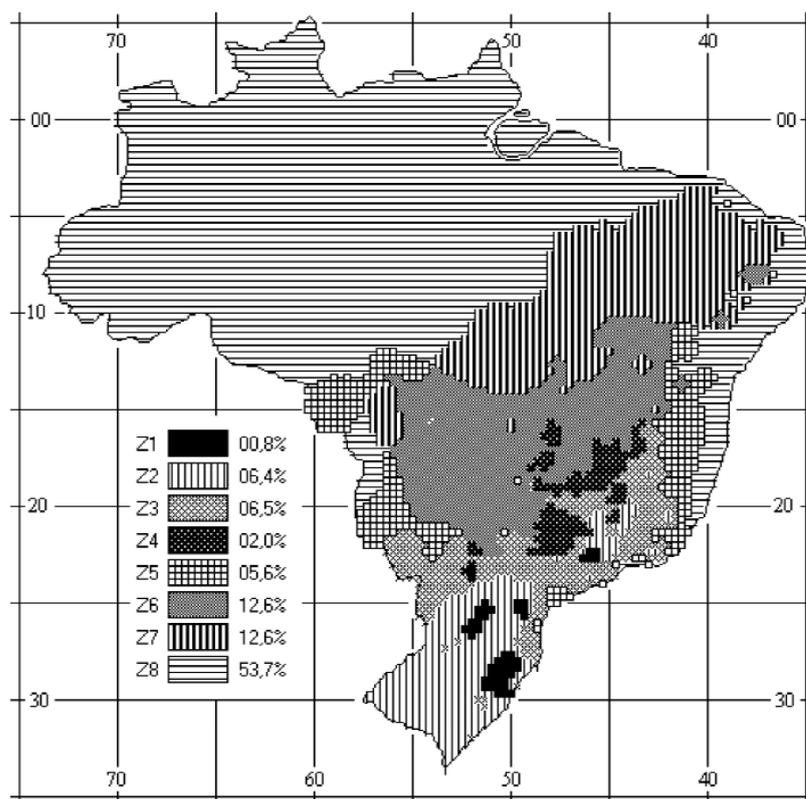
Relacionadas ao desempenho térmico de edificações, que é uma qualidade essencial para a eficiência energética, o Brasil possui duas Normas específicas ao assunto, a NBR 15220/2005 – Desempenho térmico de edificações e a NBR 15575/2013 – Edificações habitacionais: Desempenho.

2.4.1 ABNT NBR 15220

A NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta recomendações para os elementos da envoltória da edificação, como a transmitância térmica mínima de coberturas e paredes externas para cada zona bioclimática e também estratégias para obtenção de conforto térmico. Os cálculos para obtenção da resistência, capacidade e transmitância térmica de materiais e elementos construtivos e métodos de medição de condutividade térmica também são apontados na referida Norma.

Também são apresentadas cartas de zoneamento bioclimático, para avaliação do desempenho térmico conforme a região em que se localiza a edificação.

Figura 12 - Zoneamento bioclimático



Fonte: NBR 15220-3, ABNT 2005.

2.4.2 ABNT NBR 15575

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é dividida em seis partes, e se refere ao desempenho geral de habitações residenciais de até 5 pavimentos. Tem em seu conteúdo os critérios para avaliação do desempenho térmico de edificações e classifica estas quanto a qualidade do desempenho, podendo ser classificadas como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) de acordo com as características como transmitância térmica, absorvância e capacidade térmica e conforme a zona bioclimática.

O capítulo 11 da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) denominado Desempenho Térmico, apresenta os procedimentos e critérios para avaliação da edificação. “A edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3” (ABNT, 2013).

Para avaliação do desempenho térmico da edificação, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) apresenta no item 11.2, dois procedimentos conforme reprodução explícita a seguir:

- a) **Procedimento 1** – Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional conforme o item 11.2.
- b) **Procedimento 2** – Medição (informativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no item anterior (a), conforme disposto na diretiva 2:2011 da ABNT.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) é a parte específica da Norma destinada ao desempenho térmico das vedações verticais externas, ou seja, das fachadas, alvo do presente estudo:

Esta parte da ABNT NBR 15575 apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, conforme definições, símbolos e unidades das ABNT NBR 15220-1 e ABNT NBR 15220-5 (NBR 15575-4, ABNT, 2013).

No item 11.2 da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) são apresentados os requisitos mínimos, de acordo com a localização da edificação no zoneamento bioclimático, de uma característica fundamental para o bom desempenho térmico dos elementos construtivos, a Transmitância Térmica, conforme figura abaixo.

Figura 13 - Transmitância Térmica máximas em paredes externas

Transmitância Térmica U		
W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: NBR 15575-4, ABNT 2013.

A avaliação é feita conforme métodos de cálculo expostos na NBR 15220-2 (ABNT, 2005), sendo M o nível mínimo de desempenho para aceitação.

Em relação à Capacidade Térmica a referida Norma apresenta a seguinte tabela:

Figura 14 - Capacidade Térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT)	
kJ / m ² .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 1575-4, ABNT 2013.

O cálculo utilizado para a definição da capacidade térmica da fachada também é elaborado conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e deve atender ao valor mínimo apresentado na tabela acima.

Assim, conforme definição da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), caso a edificação não apresente nas paredes externas os requisitos mínimos de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica avaliados a partir de método exposto na NBR 15575-4 (ABNT, 2013), é necessária a realização da simulação computacional que comprove o atendimento aos requisitos de temperatura internas aceitáveis, em dias típicos de verão e inverno explícitos na NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

a) Verão

Para cumprimento dos requisitos mínimos no período de verão o edifício deve apresentar condições térmicas que proporcionem uma temperatura diária máxima interna igual ou menor do que a temperatura do ar externo, à sombra, em um dia típico de verão, válido para todas as zonas bioclimáticas do território brasileiro (NBR 15575-1).

b) Inverno

Já para atender o desempenho térmico no inverno, a edificação tem que atender as exigências mínimas conforme sua zona bioclimática, respeitando os requisitos da tabela 11.3 da NBR 15575-1, representada a seguir.

Figura 15 - Requisitos de desempenho de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 30 \text{ C})$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: NBR 15575-1, ABNT 2013.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) sugere o uso do software *Energy Plus* para a simulação computacional do desempenho térmico da edificação.

No Anexo A, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) traz informações para avaliação do desempenho térmico via medições *in loco*. Outros dados importantes que se têm neste anexo são relacionados a dados bioclimáticos, como as temperaturas máximas e mínimas de verão e inverno e também a radiação solar média incidente em diversas cidades brasileiras.

A referida Norma também apresenta em seu Anexo E, tabelas com valores para consideração de desempenho térmico de verão e inverno, intermediário e superior, além do mínimo, ressaltando que para maior conforto do usuário o construtor deve buscar atingir os requisitos acima do mínimo.

2.5 Isolamento térmico em edificações

De acordo com Mascarô e Mascarô (1992), o isolamento térmico de uma edificação é determinado pela resistência térmica dos materiais que compõem o teto, piso e as fachadas, ou seja, pela dificuldade imposta a troca de calor entre ambientes internos e externos.

Para o mesmo autor, o isolamento térmico se aplica a todos os climas, porém de acordo com cada um, é necessário utilizar materiais corretos. Em locais de clima quente-seco se indica a utilização de isolamento por inércia térmica, por produzir o efeito de atraso térmico, onde o calor é armazenado durante o dia e entregue ao ambiente interno a noite, quando as temperaturas já caíram consideravelmente. Já no clima semi-úmido, considera-se a aplicação de isolamento com materiais de maior resistência térmica, materiais que combinem

pouco peso com baixa condutividade térmica, pois a variação de temperatura diária é baixa e no período da noite a circulação de ar cai consideravelmente (janelas fechadas), portanto a inércia térmica seria ineficaz neste clima.

Devido à constante exposição de materiais, estruturais ou não, às intempéries e oscilações térmicas, ocorre conseqüentemente perda de qualidade e desempenho do edifício. Assim se aplica outra função ao isolamento térmico, de proteger os elementos construtivos, sendo funcional para cumprimento de desempenho ao longo de sua vida útil. A utilização de sistemas de isolamento térmico agrega maior valor de investimento inicial à construção, porém em termos econômicos deve ser considerada a diminuição de gastos com reparos, substituição de componentes, entre outros, ocorrências normais durante o ciclo de vida de uma edificação (CHAIBEN, 2014).

Em relação à eficiência energética de edificações e de acordo com Carlo (2008), algumas variáveis são determinantes no consumo energético do edifício como a iluminação artificial, o uso de equipamentos e os sistemas de climatização e também as variáveis que interferem diretamente nestes sistemas como os materiais construtivos utilizados no envoltório e o uso dos equipamentos.

No envoltório algumas características podem minimizar ou aumentar os ganhos de calor como as cores, os componentes das paredes, vidros e coberturas, e também a exposição destes ao ambiente externo devido a falta de proteções mecânicas para sombreamento.

A melhoria do comportamento térmico das paredes da envolvente é uma das principais preocupações como forma de assegurar os níveis de conforto térmico considerados razoáveis e limitar os consumos de energia em aquecimento ou refrigeração. Esta melhoria tem também efeitos na defasagem da onda de calor e na não ocorrência nos paramentos interiores de umidade de condensação por requisitos de durabilidade e conforto (CHAIBEN, 2014, p. 22 *apud* SOUSA, 2002).

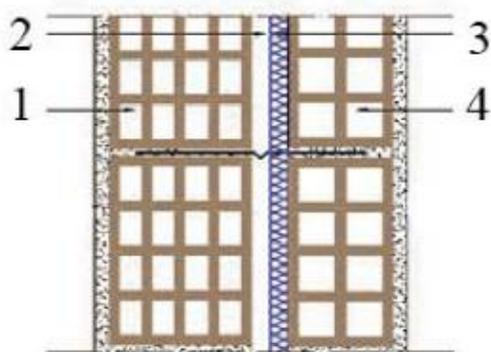
Assim, a análise das características das vedações verticais externas se mostra fundamental e comum em qualquer estudo de eficiência energética.

2.5.1 Soluções construtivas para isolamento térmico de paredes

Conforme Chaiben (2014) para reduzir as perdas térmicas, que é a transferência de energia do interior para o exterior do edifício e também os ganhos de calor, o isolamento térmico se mostra fundamental na constituição da fachada das edificações.

Segundo Vila Real (1990, p.51) “as paredes são subdivididas de acordo com o número de panos que as constituem, paredes simples ou paredes duplas”. O mesmo autor destaca que nas análises destes elementos construtivos deve-se dar atenção ao comportamento higrotérmico que os elementos estruturais como vigas, pilares e lajes, têm sobre as paredes externas da edificação, pois devido aos materiais que os compõem, há aumento da transmitância térmica média da parede. Estes elementos são denominados pontes térmicas.

Figura 16 - Parede de pano duplo com isolamento na caixa de ar



Fonte: Chaiben (2014) *apud* Vale de Gandara (2008).

1) Pano externo de alvenaria simples com reboco; 2) Caixa de ar;
3) Isolamento térmico; 4) Pano interno de alvenaria simples com reboco

Vila Real (1990) também aponta que quando se tem paredes isoladas termicamente, porém não existe tratamento térmico para as pontes térmicas, o problema se agrava devido a formação de um centro de atração de fluxo de calor, ocorrendo aumento significativo da transmissão de calor nestes pontos.

O autor apresenta algumas soluções construtivas para utilização de isolamento térmico em paredes externas de pano único, pelo exterior, como:

- ✓ Paredes simples com isolamento pelo exterior com placas de EPS/XPS e revestimento independente externo;

- ✓ Paredes simples com isolamento pelo exterior com placas de EPS/XPS, com reboco delgado, sem revestimento independente externo;
- ✓ Paredes simples com isolamento pelo exterior com placas de Lã de rocha e Fibra de vidro com barreira anti-vapor entre o isolante e a parede suporte e com revestimento independente externo.

Já para aplicação de isolamento térmico pelo interior, são apresentadas outras alternativas:

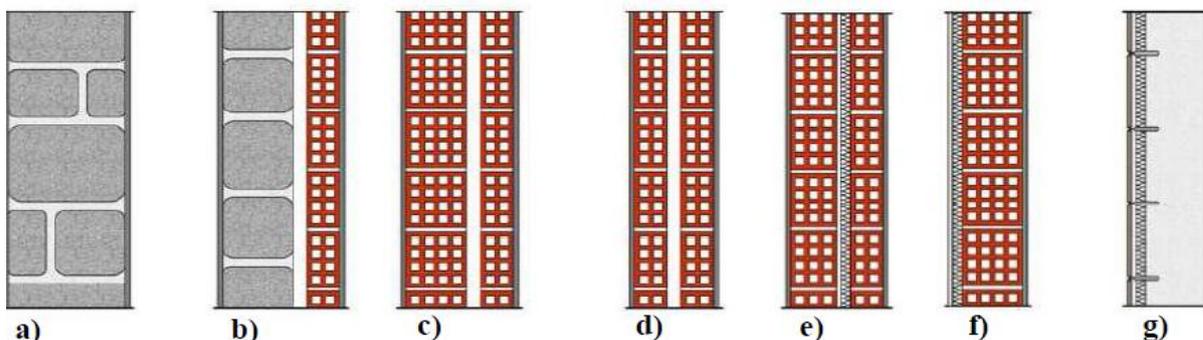
- ✓ Paredes simples com isolamento pelo interior com placas de EPS com fibra de vidro sem revestimento independente interno;
- ✓ Paredes simples com isolamento pelo interior com placas de EPS/XPS, Espuma rígida de Poliuretano, Lã de Rocha em painel, Fibra de Vidro em painel, com revestimento independente interno;

Em caso da construção de paredes de pano duplo separadas por uma caixa de ar, mais opções de isolamento térmico são propostas por Vila Real (1990):

- ✓ Parede dupla com a caixa de ar preenchida com placas de EPS/XPS, aglomerado de cortiça, Lã de rocha em manta, painéis de lã de rocha e fibra de vidro.
- ✓ Parede dupla com a caixa de ar parcialmente preenchida pelos mesmos materiais citados acima, utilizando o ar como outro isolante.

Analisando a possibilidade de utilização basicamente destes três modos de tratamento térmico da edificação, interno, na caixa de ar e externo, pode ser feita uma analogia com a evolução das fachadas na Europa, demonstrada por Chaiben (2014) *apud* Primo (2008) conforme figura 16, a seguir.

Figura 17 - Evolução das fachadas de forma geral na Europa



Fonte: Chaiben (2014) *apud* Primo (2008).

a) Alvenaria de pedra (anos 40); b) parede dupla. Alvenaria de pedra pelo exterior, caixa de ar e alvenaria cerâmica (anos 50); c) parede dupla de alvenaria cerâmica com caixa de ar de pano externo mais espesso (anos 60); d) alvenaria dupla cerâmica de panos iguais com caixa de ar (anos 70); e) parede dupla de alvenaria cerâmica com caixa de ar, isolamento térmico e pano externo mais espesso (anos 80); f) parede simples de alvenaria com ETICS (anos 90); g) parede maciça de concreto com ETICS (anos 90 e 2000).

Assim, Chaiben (2014, p.23) define que “as soluções de isolamento térmico mais utilizadas continuam a ser a clássica parede dupla e os recentes sistemas de isolamento pelo exterior, sejam as fachadas ventiladas ou os sistemas tipo ETICS”.

A mesma autora afirma que no Brasil já se trabalha com fachadas ventiladas como solução de isolamento térmico de fachadas, sendo que as vedações verticais externas estão cada vez mais leves e de menor espessura, enquanto o ETICS tem presença somente no mercado internacional e ainda não é utilizado em nosso país.

2.5.2 Sistema ETICS

2.5.2.1 Descrição

De acordo com Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (LNEC, 2010) o sistema de isolamento térmico pelo exterior denominado ETICS a partir da terminologia External Thermal Insulation Composite System “destina-se a isolar termicamente as zonas opacas das fachadas” (LNEC, 2010, texto digital).

O LNEC (2010) descreve que o sistema é aplicado no exterior em paredes de concreto ou alvenaria, conferindo a estas, além de isolamento térmico, isolamento acústico, impermeabilização, regularização e acabamento final. Também tem como vantagens de uso:

- ✓ Melhora do desempenho térmico;
- ✓ Correção de pontes térmicas;
- ✓ Redução de patologias relacionadas à condensação;
- ✓ Proteção da fachada a choques térmicos, causa de fissuras em revestimentos;
- ✓ Não reduz a área interior, no caso de reabilitação;
- ✓ Causa mínimo incômodo aos usuários da edificação.

Conforme a Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS (APFAC) o sistema é composto por um material isolante, colado diretamente no suporte (alvenaria, concreto), camada de base, armadura de fibra de vidro, camada de primário e camada de acabamento.

De acordo com Gonçalves e Freitas (2005), na Europa há um grande crescimento na utilização de isolamento térmico em fachadas pelo exterior, inclusive na reabilitação de edifícios, onde o isolamento térmico existente é insuficiente para cumprimento dos requisitos mínimos dos regulamentos de desempenho térmico ou apresenta aparência degradada e problemas de estaqueidade.

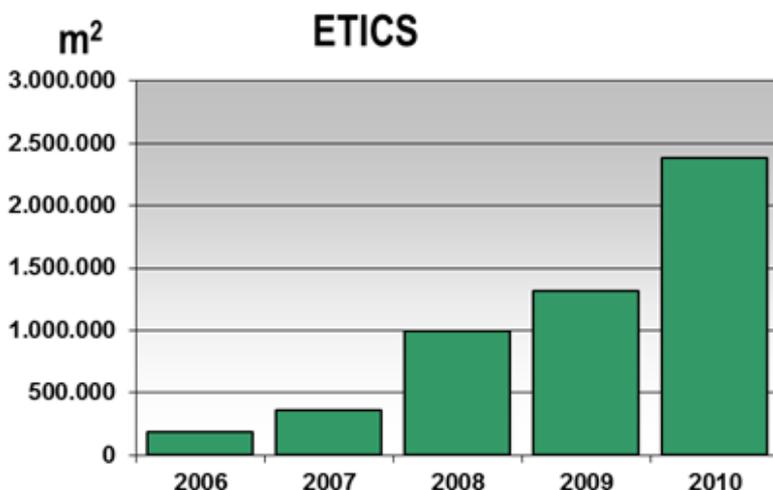
2.5.2.2 Breve Histórico

Conforme Gonçalves e Freitas (2005) o sistema de isolamento térmico pelo exterior teve como marco inicial o fim da 2ª Guerra Mundial, quando Europa passava por uma crise econômica. A escassez de combustíveis e o custo para manter aquecidas as habitações preocupavam. Com a necessidade apresentada, foram elaborados estudos que concluíram que o tipo de isolamento com melhor eficiência era pelo exterior das fachadas. Inicialmente, na Suécia, o sistema era constituído de lã mineral revestida com reboco de cimento e cal.

A aplicação de ETICS em grande escala, foi utilizada pela primeira vez em uma indústria, no fim da década de 50, na Alemanha, onde o material isolante foi o Poliestireno Expandido (EPS). Nos Estados Unidos da América, devido aos sistemas construtivos ocorrentes, o sistema teve que ser adaptado e começou a ser aplicado ao fim da década de 60. Nesta época havia certa resistência do mercado americano, porém, com a crise energética no início dos anos 70 o interesse no sistema aumentou devido a conservação de energia que era proporcionada pelo de isolamento (MOURA, 2012).

A mesma autora apresenta a evolução da utilização do sistema em Portugal, e relaciona este aumento ao nível das exigências de desempenho térmico apresentados no Regulamento de Características de Comportamento Térmico de Edifícios, e também as vantagens obtidas com a aplicação do ETICS.

Figura 18 – Evolução do uso de ETICS em Portugal



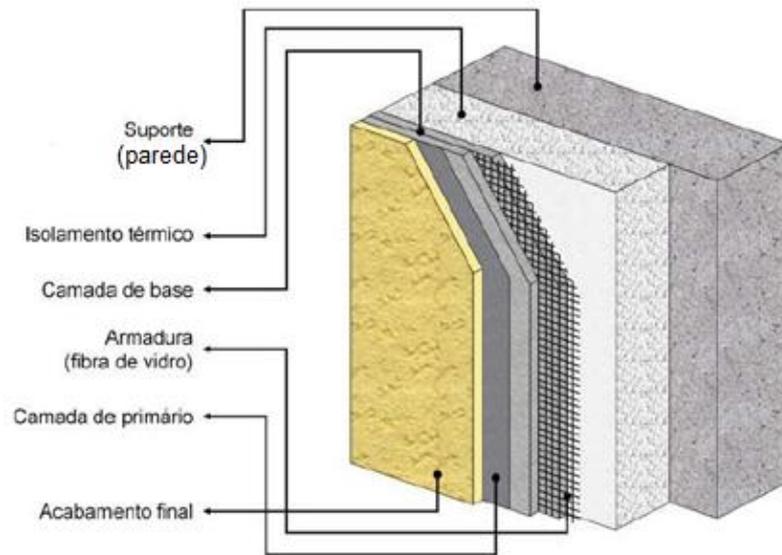
Fonte: Moura, 2012, p.4.

Analisando a figura acima, percebe-se o crescimento da utilização do Sistema ETICS, mostrando a evolução do método de isolamento térmico em Portugal, sendo que o país possui zonas de alta temperatura no verão e também temperaturas muito baixas no inverno, o que demonstra a aplicabilidade do sistema para ambas situações.

2.5.2.3 Composição do Sistema ETICS

Conforme citado anteriormente, o sistema ETICS é composto pelo suporte (parede de alvenaria ou concreto armado), camada de argamassa colante, isolamento térmico, camada de base armada (fibra de vidro) e revestimento final. Elementos complementares também são necessários, como dispositivos de fixação, cantoneiras perfis metálicos de arranque, entre outros.

Figura 19- Composição do Sistema ETICS



Fonte: Laboratório de Física das Construções, Portugal, 2014.

2.5.2.4 Materiais isolantes térmicos

De acordo com Freitas (2014), atualmente diversos materiais isolantes são utilizados na composição do ETICS. Fazem parte deste mercado o Poliestireno Extrudido (XPS), Poliestireno Expandido (EPS), Lã de Rocha e Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB), que apresentam as características apontadas na tabela a seguir.

Tabela 2 - Característica dos materiais isolantes

Propriedade	EPS	XPS	ICB	LÃ DE ROCHA
Condutividade térmica declarada λ (W/mK)	0,031-0,038	0,034-0,038	0,040	0,036
Resistência à compressão (deformação 10%) σ_{10} (kPa)	60-150	300	100	36
Coefficiente de dilatação Térmica linear α ($^{\circ}$ C)	$5-7 \times 10^{-5}$	$7,5 \times 10^{-5}$	Não disponível	2×10^{-6}
Fator de resistência à vapor de água μ	20-70	50	20	1

Fonte: Adaptada pelo autor com base no Laboratório Física das Construções de Portugal, APFAC, p.19.

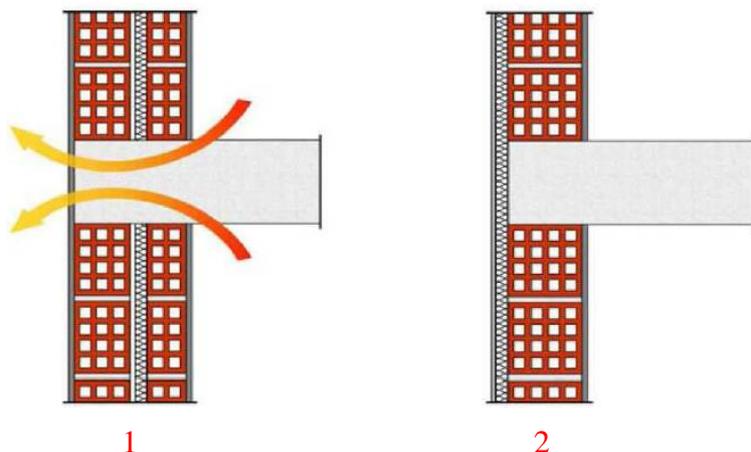
2.5.2.5 Vantagens

Segundo Neto (2012), a aplicação de isolamento térmico pelo exterior, envolvendo as fachadas da edificação, tem vantagens sobre o isolamento pelo interior o edifício principalmente por tirar proveito da inércia térmica das paredes e a continuidade que se consegue com a aplicação pelo exterior.

Conforme Vila Real (1990), Chaiben (2014) *apud* Primo (2008) e Carlo *apud* Mascarenhas (2007) o Sistema ETICS pode ser diretamente ligado a eficiência energética de uma edificação, pois gera redução do consumo energético devido a menor necessidade de energia para aquecer ou resfriar o ambiente, por este estar perdendo ou ganhando menos calor oriundo do ambiente externo. Outras vantagens além da melhora na eficiência térmica da envoltória são destacadas, principalmente a eliminação das pontes térmicas, e consequentemente diminuição das chances de patologias tipo fissuramento e condensações internas.

Outras vantagens são o aumento da estanqueidade das fachadas à umidade do exterior, a redução de peso e espessura das paredes se comparado a paredes de pano duplo que proporcionaram isolamento similar, potencializando a área interna do edifício, ou em caso de reabilitação de edificações, não havendo redução dos espaços internos já existentes e nem transtornos aos usuários no período de execução do Sistema. Também deve considerar-se a proteção que o isolamento proporciona às alvenarias, reduzindo os fissuramentos devido a variação de temperatura, ou choques térmicos.

Figura 20 - Perdas térmicas através de elementos estruturais - Pontes Térmicas



Fonte: Chaiben *apud* Primo (2014, p. 31).

1) Parede de pano duplo com isolamento na caixa de ar; 2) Parede de pano simples tipo ETICS.

Devido às características da construção civil brasileira, relacionado ao uso de paredes de pano simples em sua grande maioria, o isolamento térmico de edificações pelo exterior é uma alternativa viável em termos construtivos, pois não causa modificações nos sistemas ocorrentes no Brasil, podendo ser aplicado o sistema ETICS em novas obras e também em edifícios já existentes, ocorrendo assim a reabilitação térmica da edificação, sendo que a aplicação do sistema não causa intervenções no ambiente interno e nem na estrutura da edificação (CHAIBEN, 2014).

Observando o lado sustentável da construção, Chaibel (2014, p.32) *apud* MAPEI (2014) traz uma importante definição sobre o Sistema ETICS, considerando este “a solução mais prática para uma melhora imediata no regime energético de um edifício antigo e para a rápida redução de emissões de CO₂ na atmosfera”.

2.5.2.6 Desvantagens e Patologias

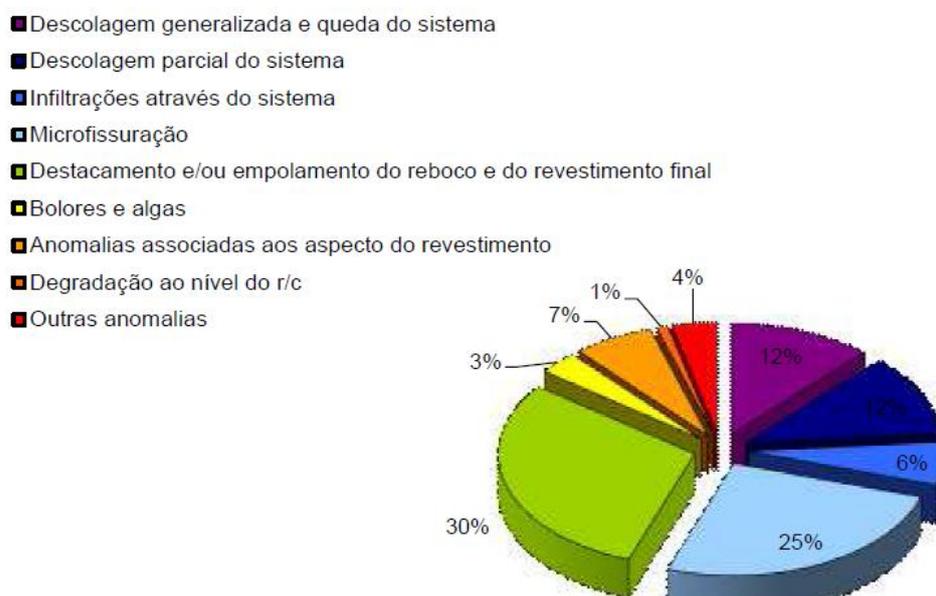
O Sistema ETICS como qualquer solução construtiva tem suas desvantagens. Observando as atuais edificações no Brasil, é perceptível a utilização em massa de sistemas construtivos em alvenaria estrutural e concreto armado. Uma característica comum dos sistemas é a utilização de tijolos ou blocos cerâmicos ou de concreto em paredes, sejam estas de fechamento ou estruturais.

Majoritariamente, as paredes tanto internas quanto externas são de pano simples, variando a espessura total entre 15 cm e 25 cm, não ocorrendo paredes de pano duplo com frequência, ou seja, a utilização do sistema ETICS de isolamento seria um acréscimo de material e custos se relacionado aos modos atuais de construir no Brasil (CHAIBEN, 2014).

De acordo com Neto (2012, p. 48) apesar de o sistema apresentar grande eficiência para cumprimento dos regulamentos térmicos e necessidades de redução de emissão de CO₂, é “caracterizado por ser uma solução de complexidade elevada e exposto a muitas patologias associadas”.

O Laboratório de Física das Construções (LFC), do Instituto da Construção de Portugal (2014) apresenta em documento digital as patologias² mais frequentes no ETICS (Figura 20), baseado em um estudo realizado pelas companhias de seguros na França, nos primeiros anos de aplicação do Sistema (1979-1985).

Figura 21 - Patologias frequentes no ETICS



Fonte: LFC, Fig.1, 2014.

Vários fatores podem influenciar no desempenho satisfatório e no tempo de conservação do sistema ETICS em seu estado inicial. Conforme Chaiben (2014), o processo de execução é um dos principais causadores de patologias, sendo um dano comum a soltura do isolamento em relação à parede, danificando de forma geral o sistema.

² A patologia “degradação ao nível do r/c” indicada na Figura 20 é o termo utilizado no português de Portugal para referir-se a degradação ao nível do pavimento térreo da edificação no português do Brasil.

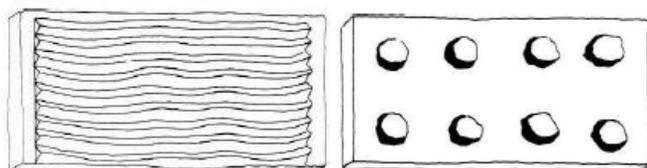
Figura 22 - Patologia por insuficiência de cola e dispositivos de fixação



Fonte: Chaiben, 2014, p.33 *apud* Florea, 2014.

De acordo com o LFC (2014), a patologia foi determinada pela má execução no processo de colagem da placa de EPS ao suporte (alvenaria). Percebe-se que o tipo de colagem do isolamento foi por pontos, processo que é considerado de risco, pois depende de uma execução muito detalhada e da qualidade extrema do produto de colagem, sendo recomendada em qualquer situação a colagem através de espalhamento contínuo do produto sobre a placa isolante.

Figura 23 - Colagem contínua (recomendada; esq.) e Colagem por pontos (dir.)



Fonte: LFC, 2014, Fig. 8 e Fig. 9.

Em casos de reabilitação, por exemplo, onde o suporte não esteja completamente limpo para aplicação da cola, se torna obrigatória a aplicação de dispositivos de fixação mecânica, buchas plásticas de fixação (LFC, 2014).

Analisando as fichas de diversas patologias registradas no estudo elaborado pelo Laboratório de Física das Construções de Portugal ao fim do ano de 2014, percebe-se a necessidade da qualidade e controle dos materiais e na execução do ETICS para evitar a ocorrência de patologias no sistema.

3 METODOLOGIA

O objetivo do presente capítulo é expor os métodos utilizados na elaboração da pesquisa sobre isolamento térmico tipo ETICS, a fim de atingir os objetivos previamente apresentados neste trabalho.

Em um primeiro momento o estudo foi baseado na exposição dos problemas, cenário atual e possíveis soluções relacionadas ao tema, com o objetivo de justificar a utilização de sistemas de isolamento térmico para redução do consumo de energia, visando demonstrar a importância do ETICS no conceito de eficiência energética. Para isso foram pesquisadas normas, livros, dissertações, documentos de homologação, artigos, notas de aula, entre outros, para compreensão e contextualização do tema.

Posteriormente, já com base teórica suficiente para iniciar a parte experimental do estudo, foi elaborada a aplicação de isolamento térmico tipo ETICS em um protótipo pré-existente, construído em um estudo de dissertação de mestrado desenvolvido junto ao PPGAD do Centro Universitário Univates, localizado próximo ao Prédio 17 da Instituição.

Para verificação do desempenho térmico do protótipo, conforme as normas brasileiras de desempenho térmico de edificações foram seguidos os métodos avaliativos apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013). O cálculo da Transmitância Térmica foi desenvolvido de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), para comprovação do cumprimento dos requisitos mínimos do sistema de vedação vertical externa, expostos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Já com o propósito de analisar a diferença de temperatura dos ambientes internos foram gerados gráficos comparativos das temperaturas internas dos protótipos e a temperatura externa, através de dados coletados por sensores e armazenados em um cartão de memória por um processador Arduíno. As temperaturas externas foram verificadas através da estação meteorológica instalada ao lado dos protótipos. Estes equipamentos foram utilizados em um estudo de mestrado, e foram disponibilizados pelo respectivo autor para uso no presente trabalho.

Por meio dos resultados obtidos com a realização das etapas acima descritas, foi possível fazer a análise da redução de consumo de energia com climatização artificial que é necessária para a manutenção da temperatura do ambiente interno que atenda as condições de conforto térmico, em comparação a outro protótipo idêntico, porém sem ETICS, que foi construído no mesmo local. Por fim, apresentam-se os custos da aplicação do sistema ETICS.

3.1 Tipo de pesquisa

O presente estudo se enquadra no âmbito de pesquisa experimental. De acordo com o Chemin (2015, p. 61) *apud* Gil (2006) “Pesquisa experimental: consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definir as formas de manipulação, controle e observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

3.2 Protótipos

Os protótipos utilizados para elaboração do estudo estão apresentados na figura a seguir.

Figura 24 - Protótipos



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

As plantas baixas e cortes elaborados pelo estudo de dissertação de mestrado desenvolvido junto ao PPGAD, responsável pela construção dos protótipos seguem no Anexo B.

Para o presente estudo, foram comparados aspectos relacionados ao desempenho térmico dos protótipos 3 e 4, ambos com orientação Norte, sendo que o protótipo número 4 recebeu aplicação do isolamento térmico tipo ETICS, e o número 3, foi mantido em suas características originais.

Optou-se pela comparação destes dois protótipos citados devido às características arquitetônicas idênticas, como dimensões, posição das aberturas e estrutura da cobertura, que possui camada de isolamento térmico em EPS de espessura 1 cm sobre a laje.

Figura 25 – Protótipo 3 com apresentação das fachadas Norte (esq.) e Sul (dir.).



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

3.2.1 Localização

Os quatro protótipos estão localizados na Cidade de Lajeado-RS, no campus do Centro Universitário Univates, em frente ao Prédio 17 da Instituição, destacado na figura a seguir.

Figura 26 - Localização dos protótipos



Fonte: Modificado pelo autor, Google Maps, 2015.

Na verificação da Zona bioclimática brasileira, conforme mapa explícito no Anexo A da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) e reproduzido no presente trabalho (Figura 11), Lajeado encontra-se entre a Zona 1 e 2, que são similares e não alteram nenhum requisito na avaliação de desempenho térmico que afete o estudo.

3.2.2 Estrutura dos protótipos

O sistema construtivo é a alvenaria estrutural, com lajes vigota e tavela na cobertura e de concreto na laje térrea. Os protótipos 3 e 4 já possuem EPS sobre a laje de cobertura, para redução do fluxo de calor oriundo da superfície horizontal.

As fachadas, elementos alvo do estudo e definidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) como elementos do Sistema Vertical de Vedação Externa de uma edificação, são compostas por paredes de alvenaria de pano simples com tijolos cerâmicos maciços de dimensões 11 cm x 5,5 cm x 19 cm, com juntas horizontais e verticais de argamassa de cimento e areia de 1,5 cm de espessura.

As áreas de portas e janelas serão desconsideradas para a avaliação do estudo, focando exclusivamente nos elementos opacos de alvenaria.

3.2.3 Equipamentos

Para a coleta de dados relacionados à temperatura interna dos protótipos e da temperatura do ambiente externo, serão utilizados equipamentos disponibilizados pelo Mestrando que atualmente elabora sua tese com dos dados obtidos através dos mesmos.

A fim de recolher dados da temperatura ambiente do local, será utilizada uma estação metereológica modelo Instrutemp ITWH-1080 que fica ao lado dos protótipos, apresentada na Figura 27.

Figura 27 - Estação Meteorológica Instrutemp ITWH-1080



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

Os dados coletados pela estação são exibidos em um painel digital, conforme figura a seguir.

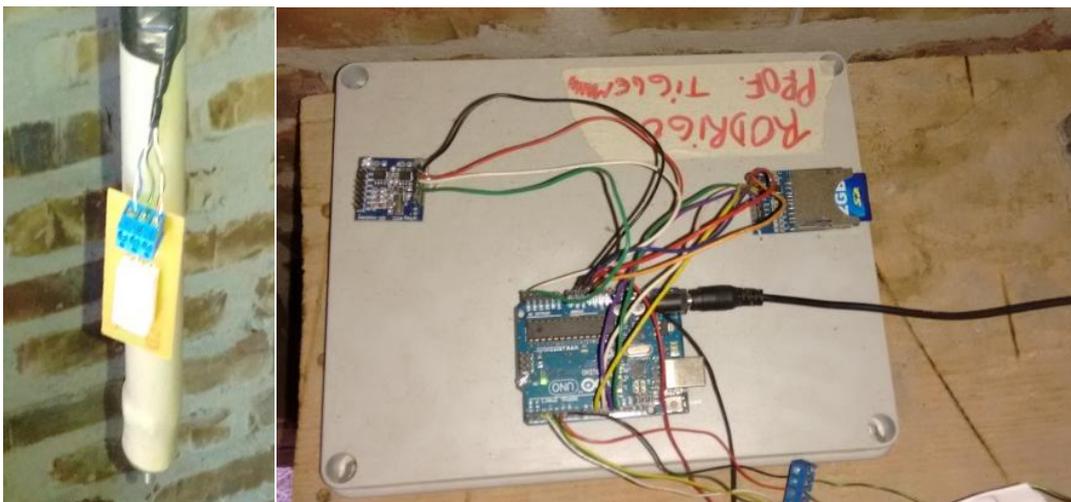
Figura 28 - Painel de leitura de dados.



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

Já para obtenção de dados de temperatura do ambiente interno dos protótipos, utilizaram-se sensores de temperatura e umidade do tipo DHT03, conectados a um Arduino. Os dados foram armazenados em um cartão de memória SD e transferidos para um computador a cada duas semanas.

Figura 29 - Sensor de temperatura e umidade DHT03 (esq.) e Arduíno Uno (dir.).



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

Assim foram recolhidos os dados necessários para avaliação e comparação do desempenho térmico do protótipo isolado em relação a outro protótipo comum.

Estes dados serviram de base para elaboração de planilhas e gráficos através do *Microsoft Excel*, para equações de transferência de calor, e demais estudos que incluam parâmetros de conforto térmico.

3.3 Execução do sistema ETICS

Primeiramente foi elaborado um projeto para representação e distribuição das placas de EPS aplicadas sobre a alvenaria, de acordo com as dimensões de placas encontradas no mercado da construção civil da região. A partir do projeto, foi feito o levantamento do quantitativo de materiais a serem empregados na execução do sistema ETICS.

A obra de aplicação de isolamento térmico teve início no dia 28 de Julho de 2015 e foi finalizada dia 07 de Agosto de 2015. Dentro do período citado, foram trabalhados quatro dias, sempre com duas pessoas na obra.

Devido ao prazo de entrega do estudo, não foi possível avaliar o desempenho térmico em dias típicos de verão, pois a estação se inicia em 21 de dezembro. Porém, mesmo assim a avaliação pode ser considerada para dias quentes, pois houve ocorrência de altas temperaturas e incidência de radiação solar nos meses de agosto e novembro de 2015.

Para execução do isolamento térmico tipo ETICS foram seguidas, dentro das possibilidades, as orientações técnicas prescritas no Documento de Homologação de um sistema ETICS em Portugal (DH 911, Weber.Therm Classic – Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior, LNEC, Portugal, 2010) devido a falta de normas ou homologações sobre o sistema no Brasil, ocorrendo a substituição de materiais referenciados na Homologação por produtos similares ou idênticos. Também foram consultados outros documentos de fontes confiáveis, como dissertações, artigos, e trabalhos de conclusão de curso, a fim de executar corretamente o ETICS.

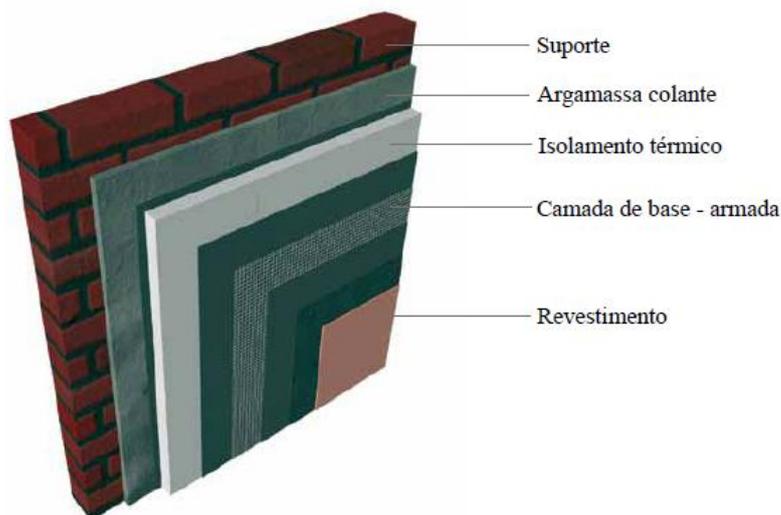
A fim de demonstrar o desenvolvimento da execução foi feito um relatório fotográfico apresentando a evolução da obra, que é está exposto a seguir de acordo com cada etapa de aplicação do ETICS no protótipo.

3.3.1 Materiais componentes do ETICS

Conforme citado anteriormente no presente trabalho, o ETICS é um sistema composto por diversos materiais, que exercem distintas funções, térmicas, mecânicas e de proteção à degradação.

A aplicação do isolamento térmico conforme bibliografias pesquisadas se inicia a partir do suporte, nome dado às paredes externas da edificação, seguido pela argamassa colante, material isolante (placas de EPS, XPS, CORTIÇA, LÃ MINERAL), camada de base (argamassa), tela de fibra de vidro, camada de primário (argamassa) e acabamento final, este que poder ser uma pintura ou mesmo revestimento cerâmico.

Figura 30 - Composição do ETICS



Fonte: Primo (texto digital, 2008).

Além destes materiais, ainda são utilizados acessórios como perfil de arranque metálico, elementos de fixação mecânica (buchas de PVC), armadura de reforço nos cantos de um vão como de janelas, cantoneiras de PVC com rede de reforço, entre outros.

Todos os materiais utilizados na execução do experimento com os protótipos estão identificados e descritos a seguir.

3.3.2 Suporte

O suporte dos protótipos é de alvenaria de tijolos maciços de dimensões 19cm x 11cm x 5,5cm, com 1,5cm de argamassa de assentamento.

3.3.3 Perfil de arranque

De acordo com o Documento de Homologação DH 911, o perfil de arranque metálico limita o contorno inferior do sistema, e deve ter largura adaptada a espessura das placas de isolamento a serem utilizadas.

O perfil é necessário para auxiliar no arranque da montagem do ETICS, a fim de garantir horizontalidade e suporte às placas enquanto não coladas, mas também tem função de proteger a parte inferior das placas contra a umidade e outras agressões do ambiente externo, assim deve ser posicionado a 10 cm do solo.

Figura 31 - Montagem do perfil de arranque



Fonte: Chaiben, 2014, p.38.

O perfil citado no DH 911 não foi encontrado no mercado da região, portanto foi buscado um perfil similar, que conforme o Documento deve ser de alumínio com espessura mínima de 0,8mm. A seguir apresenta-se o perfil metálico utilizado.

Figura 32 - Perfil de arranque de alumínio



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

A fixação do perfil junto ao suporte foi feita com parafusos de comprimento 7 cm, com espaçamento inferior a 30cm entre si, conforme orientações técnicas pesquisadas.

3.3.4 Material isolante térmico – Placas de EPS

Conforme pesquisa de materiais já utilizados em aplicações do sistema ETICS em diversos países, optou-se pelo Poliestireno Expandido (EPS), devido às suas propriedades térmicas, por ser um material considerado sustentável, pela grande oferta deste produto no Brasil e também por questões econômicas.

De acordo com a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido – ABRAPEX (2006), o EPS é um plástico rígido, resultado da polimerização do estireno em água. Seu processo de fabricação não utiliza o gás CFC (clorofluorcarboneto), o que é benéfico ao meio ambiente, pois o CFC é um dos gases responsável pela redução a camada de ozônio.

Ao fim do processo obtêm-se esferas de até três milímetros compostas por 98% de ar e 2% de poliestireno, sendo totalmente reciclável, podendo voltar a condição de matéria prima. Assim pode-se considerar o EPS como um material dentro dos padrões de sustentabilidade.

Figura 33 - Placas de EPS cortadas



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

Conforme orientações técnicas usadas como referência, as placas do material isolante térmico devem ter dimensões 1000 mm x 500 mm e espessura de 30 mm a 80 mm, com massa específica aparente aproximada de 20 kg/m³.

Existem diversas fábricas brasileiras que produzem placas dentro das características exigidas no documento de homologação, porém todas contatadas só faziam o pedido a partir de um volume muito grande, não sendo compatível com a quantidade necessária para o

experimento. Assim, buscou-se diretamente em lojas de matérias de construção, onde a melhor opção encontrada foi a placa de 2000mm x 1200mm com espessura de 500mm, que posteriormente teve suas dimensões adaptadas para seguir as orientações da referência técnica seguida e também para se adequar as medidas do protótipo.

As placas adquiridas correspondem ao grupo de material tipo III da tabela abaixo, da fabricante KNAUF, responsável pelo registro oficial da marca Isopor®.

Tabela 3 - Propriedades do EPS KNAUF

Propriedade	Norma	Unidade	Tipos de Isopor®						
			Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI	Tipo VII
Grupo do material									
Densidade aparente	NBR 11949	Kg/m ³	10,0	12,0	14,0	18,0	22,5	27,5	32,5
Densidade aparente mín.	NBR 11949	Kg/m ³	9	11	13	16	20	25	30
Tensão à compressão com deformação de 10%	NBR 8082	KPa	33	42	65	80	110	145	165
Resistência mínima ao cisalhamento	EM - 12090	KPa	25	30	60	80	110	135	170
Resistência mínima à flexão	ASTM C 203	KPa	50	60	120	160	220	275	340
Condutividade térmica (a 23°C)	NBR 12094	W/(mK)	-	-	0,042	0,039	0,037	0,035	0,035
Flamabilidade	NBR 11948	-	Classificação: retardante (F) ou não retardante à chama (P)						

Fonte: KNAUF, modificado pelo autor, 2015.

Assim, para o fechamento total das fachadas foi elaborado um projeto de montagem das placas, chegando-se à conclusão de que a forma mais eficiente de revestir as paredes externas foi utilizando as dimensões de placas de acordo com o quadro a seguir.

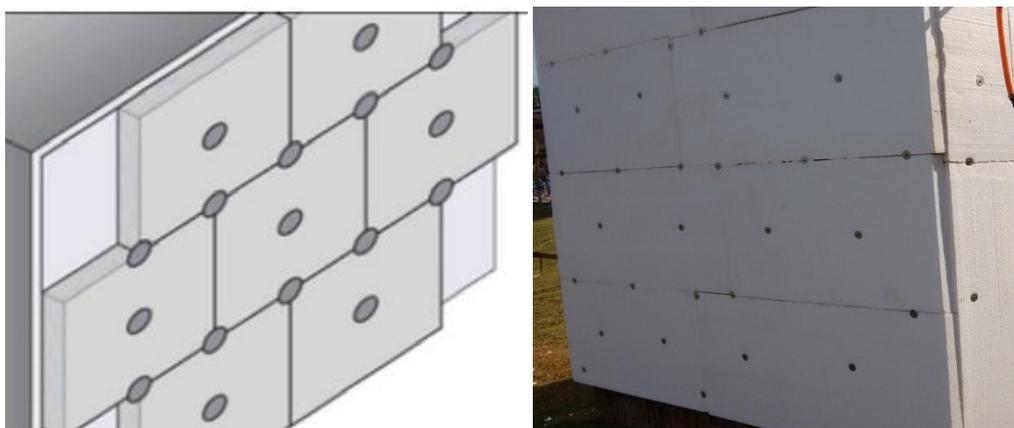
Quadro 3 – Dimensões das placas de EPS utilizadas

MÓDULO	DIMENSÕES	QUANTIDADE
1	1200mm x 600mm x 50mm	7
2	980mm x 600mm x 50mm	7
3	980mm x 680mm x 50mm	1
4	1200mm x 680mm x 50mm	1
5	1200mm x 670mm x 50mm	12

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

De acordo com Chaiben (2014), a placa de EPS deve ter dimensão máxima de 1200mm, a fim de garantir melhor continuidade ao longo da parede, e também para reduzir efeitos de dilatação e contração dos materiais. Também, deve haver descontinuidade vertical das placas, conforme figura abaixo, onde está apresentada a referência teórica (esquerda) e a aplicação no protótipo (direita).

Figura 34- Fixação e descontinuidade vertical das placas



Fonte: Neto, 2012, p. 33 (esq.) e acervo particular do autor (dir.), 2015.

Devido a se tratar de um experimento aplicado sobre protótipos pré-existentes que posteriormente poderiam ter a necessidade de retorno de suas características originais, a fixação das placas de EPS foi feita somente através da fixação mecânica para facilitar a remoção do ETICS se necessário. Sendo que o objetivo do trabalho é relacionado ao desempenho térmico, e não a durabilidade do sistema, este ponto não interfere nos resultados.

Figura 35 - Aplicação das placas de EPS



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

Figura 36 - Placas de EPS fixadas na alvenaria e dispositivo de fixação.



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

Figura 37 - Protótipos após aplicação das placas de EPS



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

A área de janelas e portas não foi considerada para o estudo, já que são idênticas nos dois protótipos (3 e 4) que são comparados no estudo. Assim, os resultados obtidos são especificamente relacionados ao isolamento das paredes externas.

3.3.5 Camada de base armada com tela de fibra de vidro

De acordo com Chaiben (2014), a camada de base do ETICS é composta por um revestimento de argamassa de ligantes sintéticos ou mistos armado com rede flexível, normalmente de fibra de vidro.

O Documento de Homologação DH-911 aponta que a espessura da camada deve ser suficiente para que a armadura de fibra de vidro fique totalmente coberta. A descrição do produto utilizado para camada de base é dada como: “argamassa cimentícia monocomponente, contendo cimento, cargas minerais, resinas, fibras sintéticas e aditivos” (DH-911, 2010, p.3).

Em relação à armadura em tela de fibra de vidro, o material é uma “rede constituída por fios de fibra de vidro com dupla torção, com proteção contra os álcalis e abertura de malha de 4mmx5mm” (DH-911, 2010, p.3), e densidade de 160g/m² (+5%), entre outras características como de resistência à tração.

De acordo com a disponibilidade de materiais na região, foram utilizados na execução da camada de base do ETICS, a argamassa colante ACII flex da marca Ceramfix e tela de fibra de vidro da marca Placlux.

- ✓ Argamassa ACII Flex: Cimento Portland, minerais com granulometria controlada e aditivos químicos;
- ✓ Tela de Fibra de Vidro ProFort Base Coat System: Tela de fibra de vidro com resistência alcalina, com malha trançada de 5mm x 5mm e densidade de 160g/m².

Figura 38 - Componentes da camada de base armada



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

A tela de fibra de vidro deve ser utilizada no ETICS, pois tem como função “restringir às variações dimensionais da camada de base, melhorar a resistência a choques e assegurar resistência à fissuração do revestimento sobre as juntas das placas de isolamento térmico” (CHAIBEN, 2014, p. 43).

Seguindo orientações técnicas, executou-se a camada de base sobre as placas de isolamento térmico, conforme figuras a seguir.

Figura 39 - Aplicação da camada de base armada



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

Figura 40 - Fachada parcialmente finalizada



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

Após a finalização desta etapa, ocorre a aplicação do acabamento, que pode ser executado com argamassa comum, pintura ou mesmo revestimentos cerâmicos.

3.3.6 Acabamento

No presente o acabamento do sistema foi executado com argamassa comum, de cimento, cal e areia, produzida *in loco* com traço 1:1:5 e pintura de tinta a base de água na cor branca.

Figura 41 - Acabamento com reboco e posteriormente pintado



Fonte: Acervo particular do autor, 2015.

3.4 Avaliação do desempenho térmico

Através dos métodos avaliativos de desempenho térmico expostos na NBR 15575-1/2005- Desempenho térmico de edificações - e NBR 157575-4/2013 – Edificações habitacionais - Desempenho - foram calculados e analisados os resultados da Transmitância Térmica dos protótipos, para verificação dos requisitos mínimos expressos na referida Norma.

Mesmo não sendo objeto de estudo do trabalho, a transmitância térmica da cobertura é indispensável para o cálculo da carga térmica, então, utilizou-se da tabela de propriedades térmicas do INMETRO, para determinação do valor da transmitância, ocorrendo pequena alteração devido à diferença da espessura da caixa de ar entre as telhas e a laje de cobertura. Assim, a cobertura usada como referência para cálculo da transmitância térmica da cobertura é apresentada na figura abaixo.

Figura 42 - Cobertura de referência

	Descrição:	5
	<p>Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica</p>	
	U	C_T
	[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]
	1,79	185

Fonte: INMETRO, 2013.

Como especificado na figura acima, a transmitância térmica (U) de $1,79\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ocorre se a caixa de ar for maior que 5cm. Ajustando o valor para caixa de ar menor que 1cm, caso real do protótipo e de acordo com NBR 15220, obtém-se o valor de $U=2,00\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.

O cálculo da carga térmica a ser retirada do ambiente interno ou introduzida a este, foi elaborado a partir da equação de fluxo de calor em uma parede opaca, de Frota e Schiffer (2007, p.42), que está apresentada no item 2.1.1.4 deste trabalho. Foram desconsiderados os valores de carga gerada por ganhos internos como de pessoas no ambiente, dissipação de potência de equipamentos e máquinas, e iluminação. Em relação aos ganhos externos, foram desprezados os ganhos através de janelas, portas e vidros (não há vidro), sendo somente analisados os efeitos da radiação solar e condução de calor através de superfícies opacas, no caso, as paredes externas.

Os dados de incidência de radiação utilizados na equação de carga térmica foram retirados da tabela de Frota e Schiffer (2007, p.217). À bibliografia citada, foram comparados os dados do Centro de Informações Hidrometeorológicas da Univates para tornar possível a utilização dos dados da tabela. Optou-se pelo uso da tabela porque o CIH da Univates não possui registros de incidência solar nas fachadas, somente incidência horizontal.

De acordo com a análise da incidência horizontal de ambas as fontes, os dados são similares, portanto, a bibliografia pôde ser utilizada na equação de carga térmica, pois os valores das fachadas são calculados a partir do valor da incidência horizontal.

Figura 43 - Tabela de Radiação Incidente (I_g)

TABELA DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE PARA LATITUDE 30° SUL - DATA BASE 22 SET													
FACHADA	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
SUL	0	28	45	50	58	63	63	63	58	50	45	28	0
LESTE	23	421	651	649	518	309	63	63	58	50	45	28	0
NORTE	0	80	219	347	458	526	548	526	458	347	219	80	0
OESTE	0	28	45	50	58	63	63	309	518	649	651	421	23
HORIZONTAL	0	144	388	617	808	928	964	928	808	617	388	144	0

Fonte: Modificado pelo autor com base em Frota e Schiffer (2007, p. 217), 2015.

Já com a utilização de dados reais de temperatura obtidos com equipamentos nos protótipos, foram elaborados gráficos comparativos da carga térmica e de temperatura interna dos protótipos em análise, sendo possível assim a visualização clara da diferença entre ambos. Os resultados são expostos no capítulo quatro do presente estudo.

3.5 Quantificação da economia de energia

Com o cálculo da carga térmica, foi possível elaborar o dimensionamento da energia necessária para obtenção de condições de conforto térmico nos protótipos.

Foram utilizados padrões de conforto térmico citados no item 2.1 deste trabalho para definir a temperatura interna base no período de verão.

Aplicando os cálculos nos protótipos foi possível elaborar um comparativo de consumo energético de ambos e também um cálculo da economia em reais (R\$) devido à redução da demanda energética com a aplicação do ETICS, sendo considerado o valor tarifário atual da AES SUL de R\$0,75 por kW.h.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados os resultados do estudo, com exposição do desenvolvimento, análises e discussão destes.

4.1 Desempenho Térmico

Os valores de transmitância térmica foram calculados conforme NBR 15220-2/2005 e verificados os requisitos mínimos de acordo com a NBR 15575/2013.

As variáveis relativas aos materiais, necessárias para realização dos cálculos, estão expostas na tabela abaixo. Os dados foram retirados da NBR 15220/2005.

Tabela 4 - Propriedades térmicas dos materiais

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS			
Material	Condutividade Térmica (W/m.K)	Capacidade Térmica (kJ/kg.K)	Densidade aparente (kg/m ³)
Tijolo maciço	0,9	0,92	1600
Argamassa	1,15	1	1900
EPS	0,042	1,42	14
Concreto armado	1,75	1	2300
Telha Cerâmica	0,9	0,92	1400

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Nos itens a seguir são apresentados os resultados dos cálculos de transmitância térmica realizados conforme NBR 15220/2005 e de carga térmica procedidos de acordo com o Livro Manual do Conforto Térmico, de Frota e Schiffer, 2007.

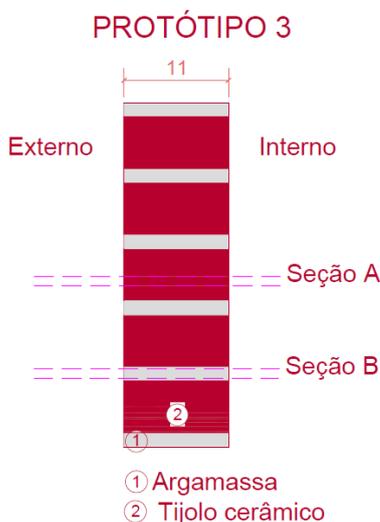
4.2 Transmitância Térmica

Para determinação da Transmitância Térmica das paredes externas foi necessário realizar primeiramente o cálculo da resistência térmica. Para isto foi criada uma planilha no *software Microsoft Excel*, seguindo as fórmulas dispostas na NBR 15220/2005. Os cálculos estão apresentados por cada protótipo, individualmente.

4.2.1 Protótipo 3

O protótipo 3 que não sofreu nenhuma intervenção, tem as paredes externas compostas apenas por alvenaria de tijolo cerâmico maciço com espessura de 11cm, sem reboco de acabamento, conforme figura a seguir.

Figura 44 - Corte da parede



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A sequência de cálculos para chegar ao resultado da transmitância térmica do elemento é apresentada a seguir, junto aos resultados obtidos.

Quadro 4- Dados para cálculo da transmitância térmica

Dados relativos ao fluxo de calor horizontal				
	Tijolo	Argamassa	EPS	Reboco
Espessura "e" (m)	0,11	0,11	0	0
Resist. Térmica (m ² . K/W)	0,1222	0,0957	0	0
Área de troca térmica (m ²)	0,0105	0,0039	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Seção A (Tijolo Cerâmico):

$$\begin{aligned} \text{Resistência Térmica A (Ra)} &= 0,1222 \text{ m}^2.\text{K} / \text{W} \\ \text{Área da Seção A (Aa)} &= 0,0105 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Seção B (Argamassa):

$$\begin{aligned} \text{Resistência Térmica B (Rb)} &= 0,0957 \text{ m}^2.\text{K} / \text{W} \\ \text{Área da Seção B (Ab)} &= 0,0039 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

a. Resistência térmica do elemento

Somente as resistências dos materiais e suas áreas expostas à transferência de calor são utilizadas nesta etapa.

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = 0,1136 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

Onde:

R_t = Resistência do elementos

A_a = Área da seção A exposta ao fluxo de calor

A_b = Área da seção B exposta ao fluxo de calor

R_a = Resistência térmica do material da seção A

R_b = Resistência térmica do material da seção B

b. Resistência térmica total

A resistência térmica total da parede é a soma da resistência de todo elemento construído com a resistência superficial externa e interna do ar. Os valores relativos a resistência do ar estão expostos na NBR 15220-2/2005, Tabela A.1 do Anexo A, e reproduzidos no presente trabalho na figura 3.

Assim a resistência total da parede externa do protótipo 3 é calculada pela fórmula a seguir.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_T = 0,13\text{m}^2.\text{K}/\text{W} + 0,1136 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} + 0,04 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$RT = 0,2836 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

Onde:

Rsi = Resistência térmica superficial interna do ar

Rse = Resistência térmica superficial externa do ar

Rt = Resistência térmica total do elemento

RT = Resistência térmica total da parede

c. Transmitância Térmica

A transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total da parede externa, portanto:

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,2836 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}} = 3,5256 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

Onde:

U = Transmitância Térmica

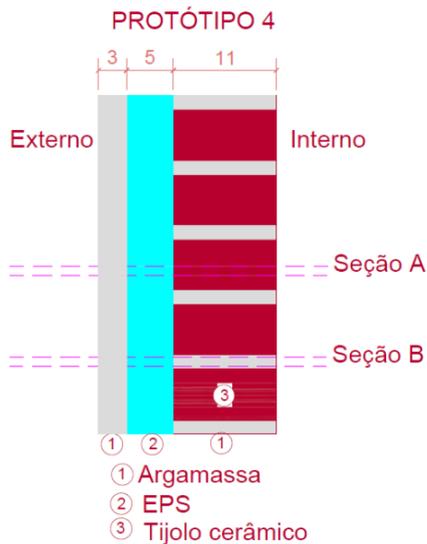
RT = Resistência Total da parede

O valor de 3,5256 W/m².K é inferior ao requisito mínimo da NBR 15575, que é de 2,5 W/m².K para a zona bioclimática do estudo, assim, o protótipo 3 não cumpre a exigência normativa.

4.2.2 Protótipo 4 – ETICS

O protótipo em que foi aplicado o ETICS tem a parede externa conforme corte representado na figura a seguir.

Figura 45 – Corte da parede



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Além dos valores apresentados no Quadro 4, do item anterior, é acrescentado ao quadro a seguir os valores da resistência térmica do EPS e do reboco de acabamento.

Quadro 5- Dados para cálculo da transmitância térmica do protótipo 4

Dados relativos ao fluxo de calor horizontal				
	Tijolo	Argamassa	EPS	Reboco
Espessura "e" (m)	0,11	0,11	0,05	0,03
Resist. Térmica (m ² .K/W)	0,1222	0,0957	1,1904	0,0261
Área exposta ao fluxo (m ²)	0,0105	0,0039	total	total

Fonte: Elaborado pelo autor

Com estes dados é possível verificar a resistência térmica total da parede com isolamento térmico, de acordo com os cálculos a seguir.

a. Resistência térmica do elemento

A resistência térmica dos materiais do sistema ETICS é somada à resistência da parede externa de alvenaria.

$$\checkmark \text{ Resistência Térmica da parede com ETICS} = R_{t \text{ parede}} + R_{\text{etics}}$$

R_{etics}(EPS+ reboco)

$$R_{\text{pared}} = 0,1136 \quad \text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$R_{\text{etics}} = 1,2166 \quad \text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$R_t = 1,3302 \quad \text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

b. Resistência térmica total

Somando a resistência total da parede com ETICS, com a resistência superficial do ar:

$$RT = 0,13\text{m}^2.\text{K/W} + 1,3302 \text{ m}^2.\text{K/W} + 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$RT = 1,5002 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Se pode observar que a contribuição de 5 cm de EPS (1,1904 m².K/W) no valor final da resistência térmica da parede corresponde à 79% do total, enquanto 3cm de reboco(0,0261m².K/W) de acabamento tem somente a parcela de 1,74%.

c. Transmitância Térmica

A transmitância térmica do protótipo com ETICS é apresentada no cálculo a seguir.

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{1,5002 \text{ m}^2.\text{K/W}} = 0,6665 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

O valor de 0,6665 W/m².K é inferior ao requisito mínimo da NBR 15575/2013, que é de 2,5 W/m².K para a zona bioclimática do estudo, cumprindo a exigência normativa.

4.3 Carga Térmica

O cálculo da carga térmica foi elaborado conforme equações de Frota e Schiffer. Para elaboração deste cálculo, também foi utilizado o *Microsoft Excel*.

De acordo com a bibliografia citada, a transferência de calor entre paredes opacas se dá pela equação representada abaixo. Assim, multiplicando o valor encontrado pela área exposta ao calor e à radiação (área das fachadas), obtém-se a carga térmica do ambiente.

$$q = \frac{K\alpha I_g}{h_e} + K(t_e - t_i)$$

As variáveis utilizadas na equação estão expostas nos quadros a seguir.

Quadro 6 - Variáveis utilizadas na equação de transferência de calor

	P3	P4 ETICS	COBERTURA	UNIDADE
U=K	3,5256	0,6666	2,0054	W/m ² .°C
Ig	varia	varia	varia	W/m ²
α =	0,65	0,3	0,75	
te =	varia	varia	varia	°C
ti =	25	25	25	°C
he =	25	25	25	W/m ² °C

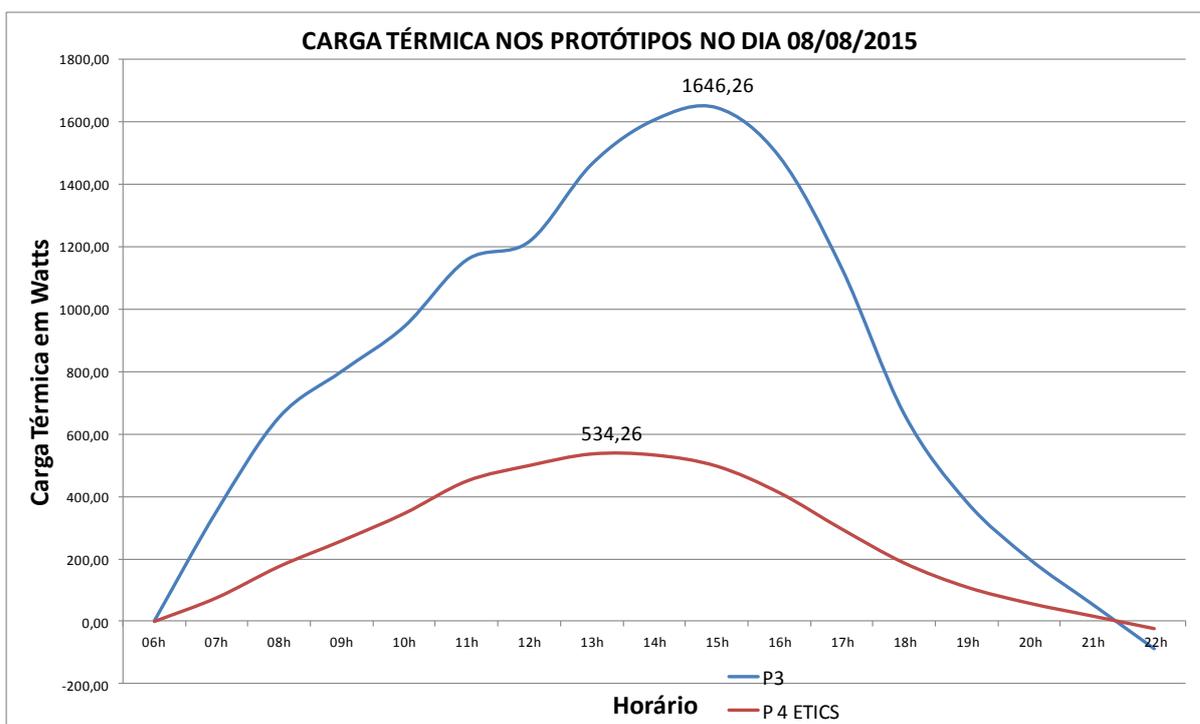
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Obs.: U=K=Transmitância Térmica; Ig=Radiação incidente; te=temp. externa real; ti=temp. interna de conforto; he=Coef. de condutância térmica sup. externa; α = Absortância solar

Como se pode observar nos quadros acima, foi determinada uma temperatura interna de 25°C como padrão de conforto térmico. Os gráficos para comparação da carga térmica entre os protótipos em análise foram elaborados realizando o cálculo de hora em hora, das 06h às 22h do dia 08 de agosto de 2015, utilizando dados reais de temperatura externa captadas pela estação meteorológica utilizada no estudo, valor de transmitância térmica previamente calculado, coeficientes como absortância e condutância térmica de acordo com NBR 15220/2005, e dados de incidência de radiação solar de acordo com a tabela de Frota e Schiffer (2007, p.217).

A carga térmica dos protótipos é representada no gráfico a seguir.

Gráfico 1 - Carga térmica nos protótipos em 08/08/2015



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

O gráfico acima demonstra a carga térmica total dos protótipos, sendo que parte da carga chega ao ambiente pela cobertura e outra parcela pelas fachadas, e também pelas frestas da janela e porta, que não foram quantificadas neste estudo. Este gráfico é usado para o dimensionamento da instalação de ar condicionado no ambiente.

A aplicação do ETICS resultou em uma redução considerável de carga térmica comparada ao protótipo não isolado, sendo este fato plenamente positivo para o objetivo do presente estudo.

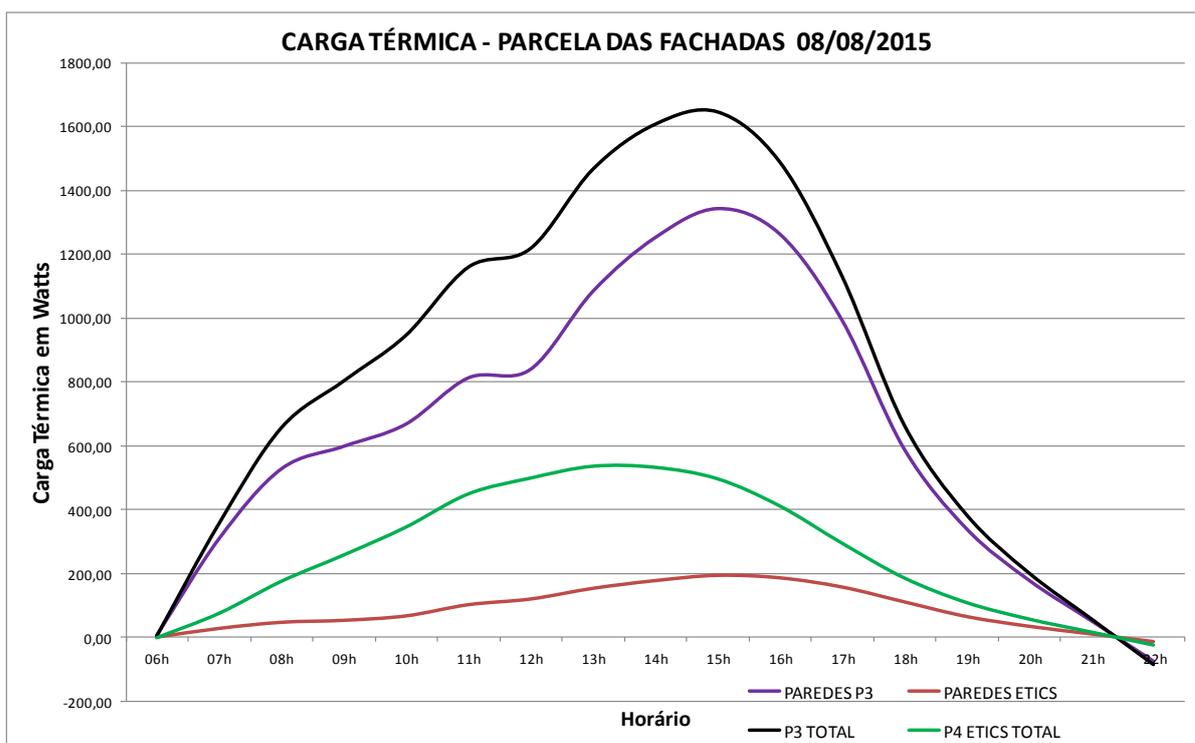
O horário com maior carga térmica, ou seja, o ponto crítico do dia foi de 1646 W (às 15h) no protótipo 3 e de 534 W (às 13h) no protótipo com ETICS, quando a temperatura externa era de 33,8°C e 31,7°C, respectivamente. A diferença de hora crítica se dá ao fato de que no protótipo isolado o calor entrou no ambiente com mais facilidade quando a radiação incidente era maior na horizontal (cobertura) do que nas fachadas.

Já no protótipo 3 o ponto crítico ocorreu quando o sol incidia com maior intensidade nas fachadas e como estas não estavam isoladas, o calor era transferido para o ambiente interno com maior facilidade.

Salientando que a temperatura interna base de conforto utilizada nos cálculos foi de 25°C, o sistema aplicado mostrou-se eficiente e contribuiu consideravelmente para a redução do consumo de energia, que será apresentado no item 4.5 deste capítulo.

Também é importante comparar a influência da carga térmica oriunda somente das fachadas em relação à carga total. Assim apresenta-se o gráfico abaixo, comparando as parcelas de carga deste elemento com a carga térmica total, para visualização da importância do isolamento nas paredes externas.

Gráfico 2 - Contribuição das fachadas na carga térmica total em 08/08/2015



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

No gráfico apresentado acima, observa-se que a contribuição das fachadas do protótipo 3 na carga térmica total do mesmo é majoritária, sendo que o espaço entre as duas linhas (preta e roxa) corresponde a parcela de contribuição da cobertura.

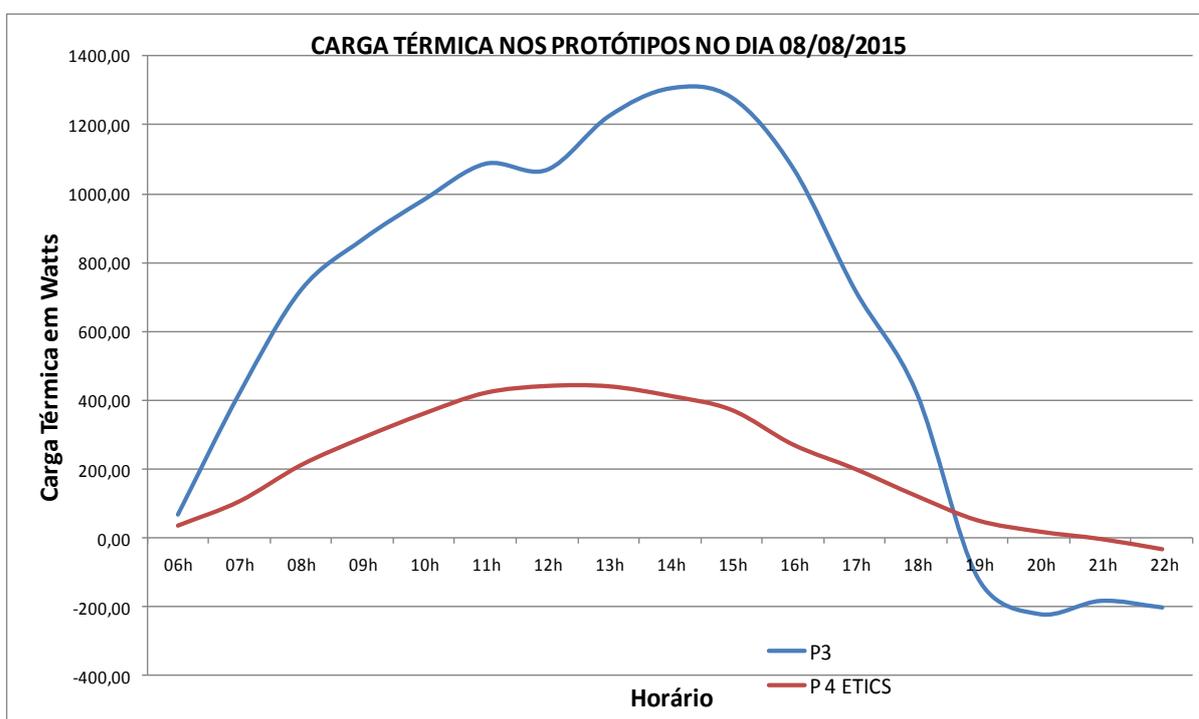
A maior contribuição de carga térmica das paredes em relação à cobertura se deu devido a baixa resistência térmicas das paredes externas.

No protótipo ETICS a cobertura tem maior parcela de influência na carga térmica total na maior parte do dia, ocorrendo a inversão deste fato nas horas em que a radiação incidente na cobertura começa a ficar muito baixa, e conseqüentemente, aumentar nas fachadas, e

também quando já não existe insolação, ocorrendo apenas a passagem de calor por condução e assim como as fachadas possuem área maior do que a cobertura, tem maior parcela na passagem de calor do meio externo para o ambiente interno, porém com valores muito baixos, tendendo a zero.

Com o intuito de verificar a quantidade de calor que é transferido do meio externo para o interno sem estabelecer temperatura padrão de conforto térmico, também foram elaborados gráficos utilizando valores de temperatura interna reais coletadas pelos sensores instalados em cada protótipo, para uma verificação da carga térmica real, simulando que a edificação não estivesse com equipamento de climatização para manter a temperatura interna em um valor pré-estabelecido.

Gráfico 3 - Carga térmica com variação da temperatura interna em 08/08/2015.



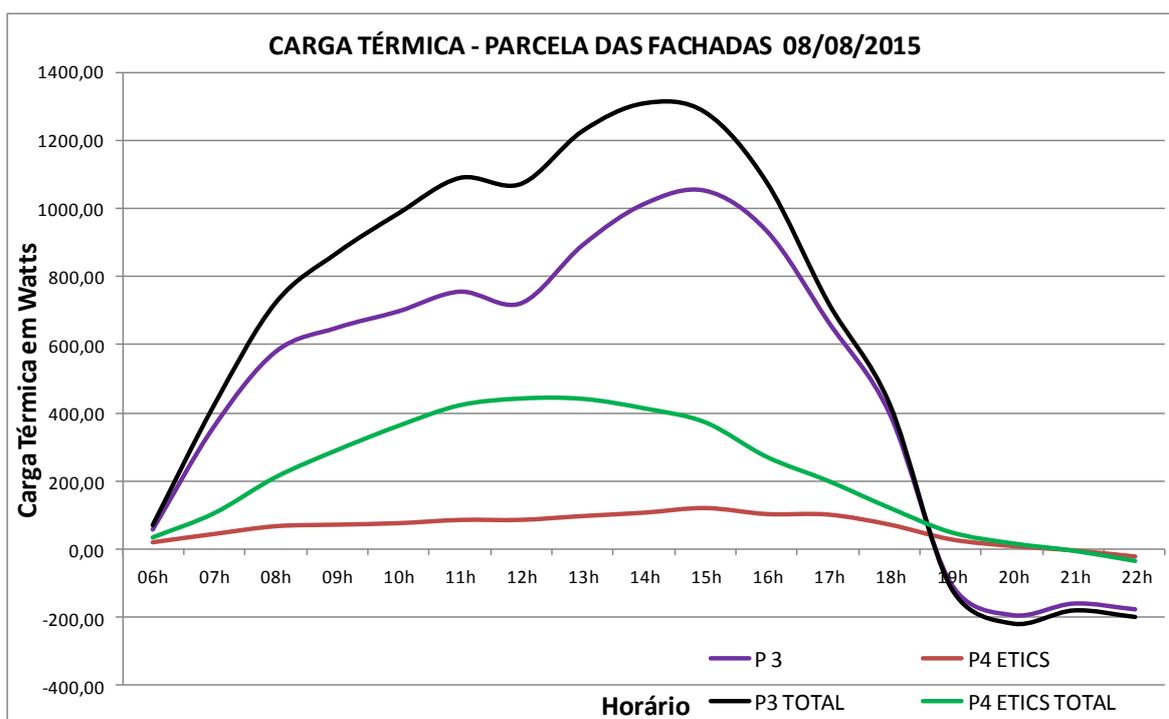
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Com o gráfico correspondente a dados de temperaturas internas medidas no dia de análise, percebe-se uma diminuição do ponto crítico de carga térmica nos protótipo 3 e 4, devido que na hora crítica quando se utiliza a temperatura real, a diferença de temperatura entre o meio interno e externo diminui, reduzindo o valor de transferência de calor por condução na equação. A interpretação deste gráfico tem o intuito de verificar qual o calor real que está entrando no ambiente interno e não serve para dimensionamento de ar condicionado.

Percebe-se que o protótipo ETICS além de se manter com menor carga térmica, é mais constante, enquanto o protótipo sem isolamento varia muito devido a alteração da temperatura externa. Os gráficos de temperatura estão expostos no item 4.4, e servem de base para analisar os gráficos apresentados anteriormente.

Abaixo, é apresentado outro gráfico com temperaturas internas reais, agora com a parcela de contribuição das fachadas em relação à carga total em ambos os protótipos.

Gráfico 4 - Contribuição das paredes em relação à carga térmica total com dados de temperatura internas registrados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Observa-se como no gráfico acima, que a contribuição das fachadas é muito maior que a da cobertura no protótipo sem isolamento térmico, enquanto no protótipo com ETICS ocorre o inverso no maior período do dia. Fica claro, que se a cobertura do protótipo tivesse um valor de transmitância térmica menor, a carga térmica tenderia a zero, ou seja, a troca de calor entre os meios externo e interno seria praticamente nula, comprovando a eficiência do isolamento térmico no desempenho da edificação, inibindo a necessidade de utilizar climatização artificial na maior parte do dia.

Os pontos em que a carga térmica fica negativa ocorrem porque a temperatura interna registrada foi maior que a externa e a transferência de calor se deu do ambiente interno para

externo. Também já não havia insolação, portanto a parcial do cálculo de carga térmica correspondente a condução de calor resultou negativa e a parcial de radiação foi nula. Mais uma vez, o protótipo ETICS teve bom desempenho, pois manteve a temperatura constante por um período maior e conseqüentemente manteve a carga térmica próxima a zero, como pôde ser observado no gráfico anterior.

4.4 Comparativo de temperaturas

Com os equipamentos utilizados no estudo, foi possível elaborar gráficos comparando a temperatura externa com as temperaturas internas de ambos os protótipos, tendo assim a visualização da interferência do sistema ETICS no desempenho térmico em graus Celsius, ou seja, a real diminuição da temperatura interna.

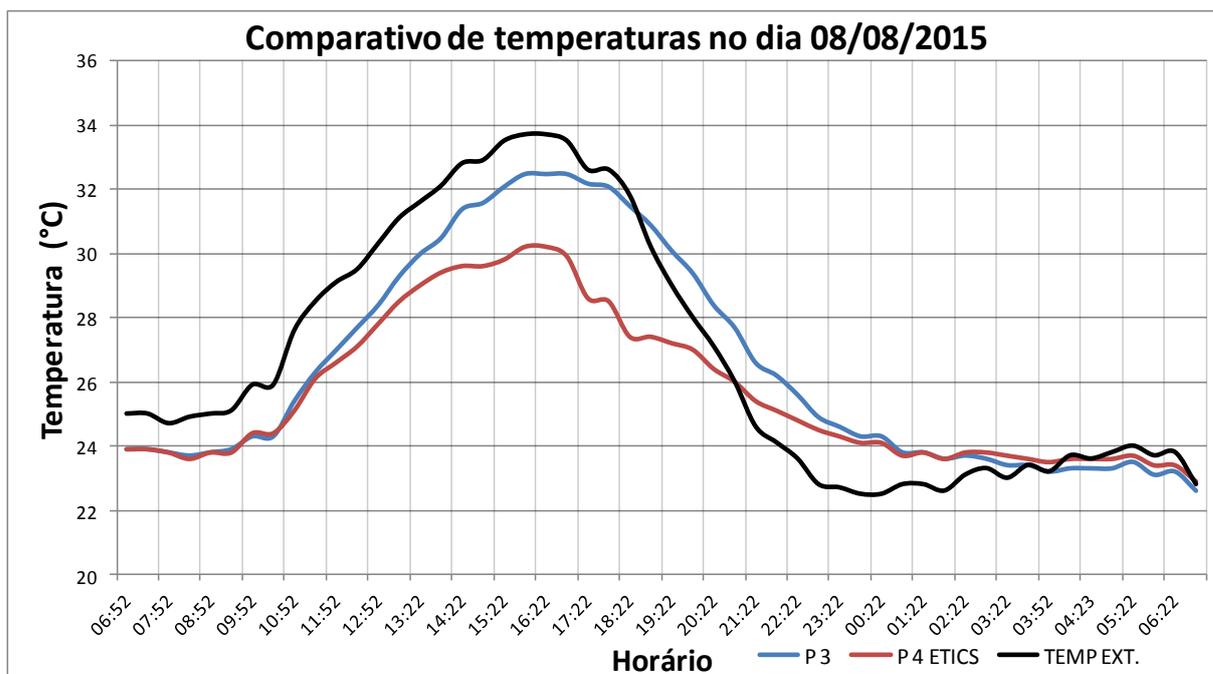
Foram coletados dados do dia 07/08/2015 a 10/11/2015 e observados os dias em que houve ocorrência de maior calor. Assim, para análise do desempenho térmico diante ao calor, foram selecionados alguns dias críticos para o estudo.

Os comparativos são apresentados a seguir, sendo que ocorreu a análise primeiramente com influência do vento e efeito chaminé ocorrendo em ambos os protótipos, e posteriormente com o fechamento das aberturas do protótipo ETICS e manutenção das aberturas no protótipo 3, a fim de simular uma situação de uso de climatização artificial no protótipo ETICS.

4.4.1 Comparativo de protótipos com ocorrência de ventilação

No dia 08 de agosto de 2015 foram registradas altas temperaturas na cidade de Lajeado, conforme gráfico a seguir.

Gráfico 5 - Comparativo de temperaturas em 08/08/2015



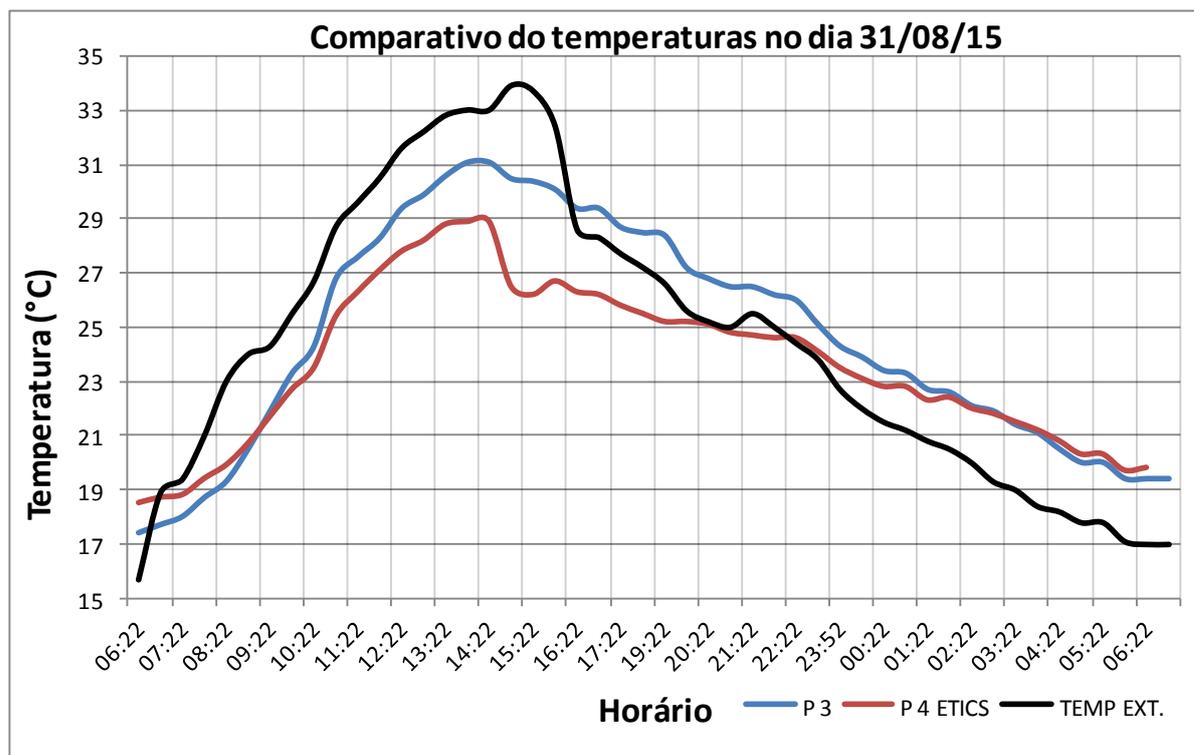
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Observa-se no gráfico acima que o protótipo ETICS teve uma variação de temperatura menor ao longo do dia. De acordo com o padrão de conforto térmico, que considera temperatura de 19°C até 28°C como valores aceitáveis, variando com a umidade e velocidade do ar, o protótipo 3 esteve no período analisado, 3 horas a mais fora da zona de conforto que o protótipo com isolamento.

Nos picos de temperatura do dia, às 16h22min, enquanto a temperatura externa era de 33,7°C, o protótipo 3 registrou 32,5°C e o protótipo ETICS marcou 30,2°C. Já a maior diferença fica evidente às 18h22min, quando o protótipo ETICS estava 4,1°C mais frio que o ambiente externo e 3,6°C menos que o protótipo 3.

Outro comparativo, representando as temperaturas do dia 31 de Agosto de 2015 é apresentado no gráfico abaixo.

Gráfico 6 - Comparativo de temperaturas em 31/08/15



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

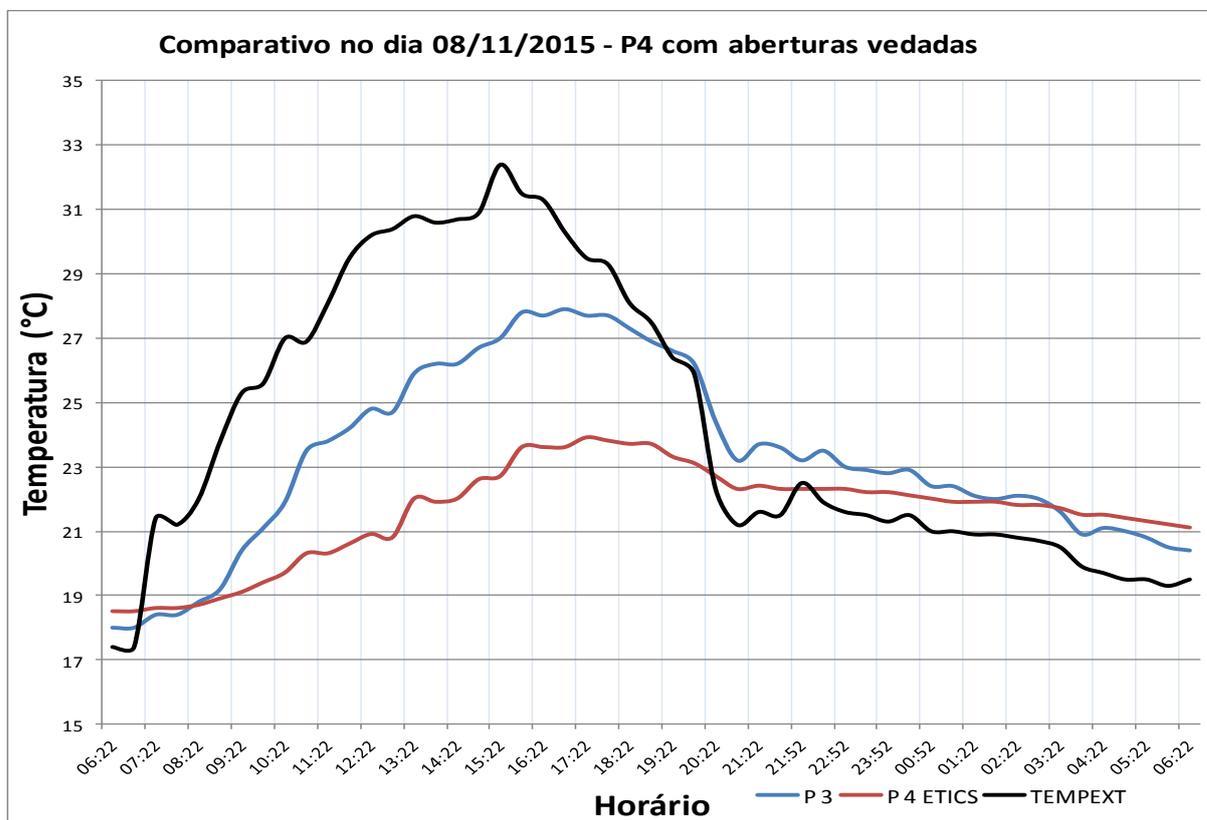
No gráfico acima, assim como no dia 08/08/2015, o comportamento térmico do protótipo com isolamento se mostra eficiente, chegando a diferença de temperatura para o ambiente externo de até 7,4°C e de 4°C para o protótipo sem isolamento, no ponto mais crítico do dia (15h52min). Neste horário, houve uma queda repentina na temperatura devido a influência do vento, que mudou de direção e alterou a temperatura interna do ambiente. Os protótipos possuem janelas de captação de vento orientadas para Norte e para Sul, ou seja, o vento influencia diretamente a mudança de temperatura interna, porém as aberturas são idênticas nos dois protótipos analisados, validando o comparativo.

4.4.2 Comparativo de temperaturas com P4 ETICS com janelas vedadas

Outro comparativo realizado ocorreu com o fechamento das aberturas do protótipo ETICS, a fim de evitar a influência do vento no protótipo. Assim, a comparação se dá com dois sistemas diferentes de climatização, sendo o do protótipo 3 por ventilação natural com janelas posicionadas para ocorrência do efeito chaminé e o protótipo 4 sem ventilação, simulando o que seria feito se houvesse climatização artificial no ambiente, com fechamento

das janelas para manutenção da temperatura interna que já estava em condições favoráveis ao conforto desde o início da manhã do dia 08/11/2015 e 09/11/2015, conforme gráficos abaixo.

Gráfico 7 - Comparativo de temperatura com aberturas do P4 vedadas em 08/11/2015



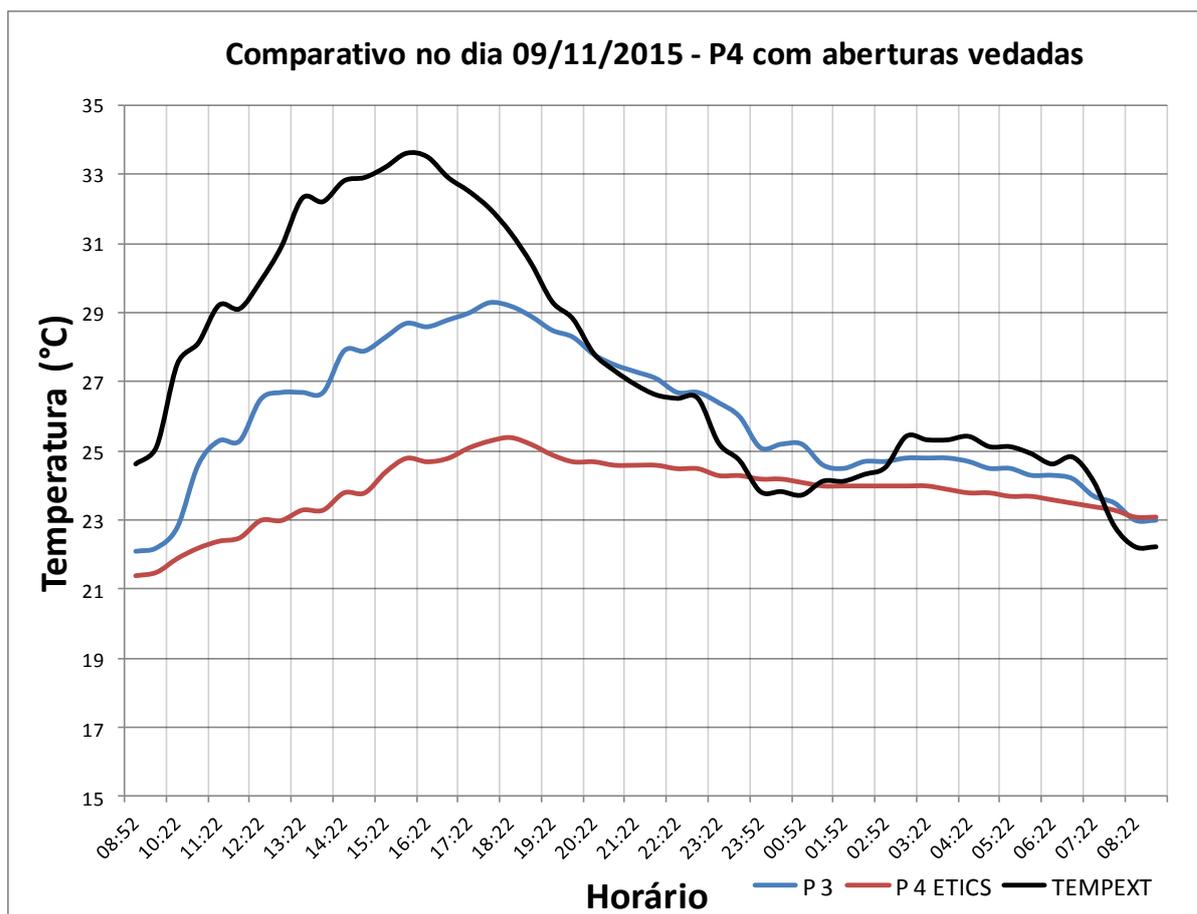
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

No gráfico acima fica visível a diferença de temperatura de pico do dia e o bom desempenho dos protótipos em relação ao ambiente externo. O protótipo ETICS esteve 8,8°C abaixo da temperatura externa e 4°C mais frio que o protótipo 3, comprovando a funcionalidade do sistema de isolamento térmico aplicado.

Analisando a oscilação térmica, a eficiência do isolamento térmico é plenamente satisfatória. Enquanto a temperatura externa variou de 17,4°C (06h22min) até 32,4°C (15h22min) em um total de 15°C, a oscilação da temperatura interna do protótipo ETICS foi de 18,5°C (06h22min) a 23,9°C (17h22min) em um total de 5,4°C. O protótipo 3 com ventilação natural teve uma variação de temperatura interna de 18°C a 27,8°C, total de 9,8°C, apresentando bom desempenho.

Outro dia selecionado para análise devido às altas temperaturas, foi o dia 09/11/2015, conforme gráfico a seguir.

Gráfico 8 - Comparativo de temperaturas 09/11/2015 - P4 ETICS vedado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

No gráfico 8 o desempenho térmico do protótipo ETICS foi satisfatório mais uma vez. A manutenção da temperatura interna em condições de conforto durante todo período reduziu a zero a necessidade de uso de climatização artificial, dependendo apenas de fechamento e aberturas de janelas para que o ambiente interno esteja em níveis de conforto.

A oscilação térmica interna do protótipo isolado foi apenas de 4°C durante todo período analisado, diante da variação de 11,2°C da temperatura externa e de 7,2°C do protótipo 3.

A diferença de temperatura de pico foi de grande amplitude, registrando 9,1°C mais baixa que a temperatura externa às 14h52min e 4,1°C em relação ao protótipo 3.

Analisando os gráficos 7 e 8, se percebe nitidamente a maior eficiência do isolamento térmico ETICS no protótipo quando a edificação está com as janelas fechadas. A pequena variação das temperaturas internas do protótipo ETICS nos dias 08 e 09 de novembro

demonstra que o sistema reduz consideravelmente o efeito da temperatura externa sobre ao ambiente habitado, tornando os resultados da utilização do ETICS como sistema de isolamento térmico de fachadas satisfatório.

A análise do desempenho térmico com o fechamento das aberturas do protótipo foi feita com base em dois dias, portanto, são apenas duas amostras. Seria necessária a observação dos protótipos em mais dias de calor para confirmação plena do resultado.

4.5 Consumo de energia

O dimensionamento de ar condicionado necessário para cada protótipo foi elaborado a partir da carga térmica crítica do dia 08/08/2015, ou seja, no intervalo entre dois pontos onde ocorreram os maiores valores, atendendo a situação mais crítica do dia em análise.

Também foi elaborado um gráfico para verificação de uma média diária de carga térmica. Optou-se pelo método da área do sob a curva do gráfico Carga térmica x Horário, realizado ou através de *software AutoCad*.

Com a potência média e máxima calculadas, foi possível verificar o consumo aproximado de energia elétrica da edificação para fins de conforto térmico. É importante salientar que o ambiente interno dos dois protótipos têm área útil de 3,37 m², fazendo com que os custos com climatização pareçam baixos.

Não é possível calcular o consumo diário exato de energia da climatização, pois muitos fatores internos e externos interferem, e conforme a temperatura interna atinge o padrão de conforto, o aparelho reduz sua potência, pois já não precisa tanto para manter o ambiente na temperatura desejada.

4.5.1 Protótipo 3

Através dos cálculos de carga térmica em cada hora do dia, obteve-se o quadro a seguir.

Figura 46 - Carga térmica no Protótipo 3

CARGA TÉRMICA EM WATTS - PROTÓTIPO 3 - DATA: 08/08/2015												
HORA	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
SUL	-2,20	16,04	25,78	28,65	53,06	113,21	152,88	183,73	205,10	222,55	217,48	194,52
LESTE	10,67	234,63	362,82	361,70	307,98	247,24	148,72	178,73	199,52	216,50	211,57	189,23
NORTE	-1,99	41,43	113,42	179,71	255,13	342,14	389,38	405,88	392,57	355,00	286,72	202,78
OESTE	-2,14	15,60	25,08	27,87	51,62	110,14	148,72	315,83	455,89	550,33	549,30	408,26
COBERTURA	-1,11	47,75	128,67	204,61	277,89	346,42	378,26	381,80	354,16	301,88	224,83	137,29
TOTAL =	3,23	355,46	655,76	802,53	945,68	1159,15	1217,96	1465,96	1607,24	1646,26	1489,91	1132,08

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Assim o dimensionamento do ar condicionado foi elaborado para suprir a maior demanda horária do dia, conforme cálculo abaixo:

Carga térmica das 15h às 16h:

$$Q = \frac{1646,26W + 1489,9W}{2}$$

$$Q = 1568,1 W$$

Como os aparelhos condicionadores de ar são comercializados por unidade de potência em BTU/h, foi feito o cálculo considerando que 1.000 W equivalem a 3.412 BTU/h, então a carga térmica máxima de 1.568,1 W corresponde a um ar condicionado de 5.350 BTU/h de potência.

Utilizando um aparelho de eficiência “A” (selo Procel), a potência do ar condicionado em Watts é calculada a seguir.

$$Pot = \frac{5350 BTU/h}{10} = 535 W$$

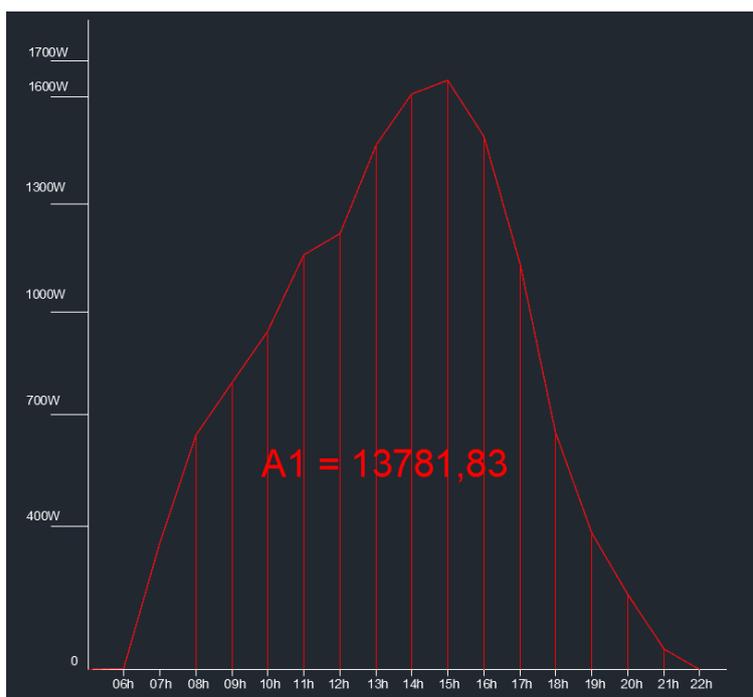
Considerando o funcionamento durante 1h, obtém-se o valor de 535 W.h ou 0,535 kW.h de consumo de energia no ponto crítico do dia, então pode se calcular o custo desta hora de uso do equipamento, considerando a tarifa atual da AES Sul de R\$ 0,75/kW.h.

$$\text{Custo}(1h, \text{ ponto crítico}) = 0,535 \text{ kW.h} \times \text{R\$ } 0,75/\text{kW.h.} = \text{R\$ } 0,40.$$

Portanto, no ponto crítico do dia 08 de outubro de 2015, o gasto com energia elétrica devido a climatização artificial foi de R\$0,40, para manutenção da temperatura interna em 25°C no protótipo 3.

Já através da área do sob a curva do gráfico carga térmica x horário, realizado ou através de software, calculou-se a média de consumo por hora de funcionamento do ar condicionado.

Figura 47 - Consumo energético Protótipo 3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A partir da área do gráfico, segue o cálculo da potência média:

$$Pot = \frac{13781,83W \cdot h}{18h} = 766 W$$

A potência de 766 W corresponde a um equipamento de 2.613 BTU/h, sendo equivalente a um consumo de 261,3W em uma hora de funcionamento do equipamento climatizador.

O custo médio por hora do dia, considerando as cargas térmicas em 18h do dia, é de:

$$\text{Custo médio} = 0,261kW \cdot h \times R\$ 0,75/kW \cdot h = R\$ 0,20$$

Considerando o uso de equipamento de ar condicionado durante 10h em um dia, o custo seria de R\$2,00 por dia e em um mês com 20 dias de uso, R\$ 40,00 por mês.

4.5.2 Protótipo 4 - ETICS

Através dos cálculos de carga térmica em cada hora do dia, obteve-se o quadro abaixo:

Figura 48 - Carga térmica no protótipo 4 em 08/08/2015

CARGA TÉRMICA EM WATTS - PROTÓTIPO ETICS - DATA: 08/08/2015												
FACHADA	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
SUL	-0,42	1,40	2,25	2,50	6,65	17,73	25,23	31,06	35,40	39,16	38,49	35,15
LESTE	0,71	20,47	31,66	31,56	28,84	29,21	24,54	30,22	34,43	38,10	37,45	34,19
NORTE	-0,38	3,62	9,90	15,68	24,09	36,95	44,73	49,01	50,07	48,82	42,66	34,12
OESTE	-0,41	1,36	2,19	2,43	6,47	17,25	24,54	42,18	56,80	67,23	66,92	53,30
COBERTURA	-1,11	47,75	128,67	204,61	277,89	346,42	378,26	381,80	354,16	301,88	224,83	137,29
TOTAL =	-1,59	74,60	174,66	256,78	343,94	447,57	497,30	534,26	530,87	495,19	410,36	294,05

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Assim o dimensionamento do ar condicionado foi elaborado para suprir a maior demanda horária do dia, conforme cálculo abaixo:

Carga térmica das 13h às 14h:

$$Q = \frac{534,26W + 530,87W}{2}$$

$$Q = 532,6W$$

Considerando que 1.000 W de carga térmica equivalem a 3.412 BTU/h, então a carga térmica máxima de 532,6 W corresponde a 1.818 BTU/h.

Utilizando um aparelho de eficiência “A”, a potência necessária para suprir o ponto crítico é:

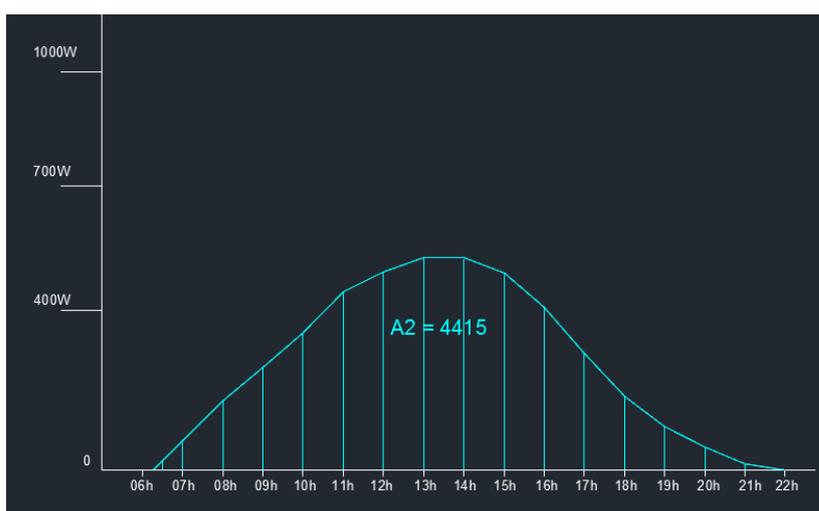
$$Pot = \frac{1.818 BTU/h}{10} = 182 W$$

Em 1h de funcionamento o equipamento de ar condicionado dimensionado anteriormente consome 182 W.h ou 0,182 kW.h. Considerando a tarifa atual da AES Sul de R\$ 0,75/kW.h, o custo é de:

$$\text{Custo}(1\text{h, ponto crítico}) = 0,182 \text{ kW.h} \times \text{R\$ } 0,75/\text{kW.h.} = \text{R\$ } 0,14.$$

A média de consumo no protótipo ETICS foi calculada a seguir, a partir da área sob a curva do gráfico.

Figura 49 - Consumo energético Protótipo 4 ETICS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A partir da área do gráfico, segue o cálculo:

$$Pot = \frac{4415 \text{ W.h}}{18\text{h}} = 245,28 \text{ W}$$

A carga térmica de 245,28 W corresponde a 837 BTU/h de potência de ar condicionado, sendo equivalente a um consumo de 83,7W em uma hora de funcionamento do ar condicionado.

O custo médio por hora do dia, considerando as cargas térmicas em 18h do dia, é de:

$$\text{Custo médio} = 0,0837 \text{ kW.h} \times \text{R\$ } 0,75/\text{kW.h} = \text{R\$ } 0,06$$

Considerando o uso de equipamento de ar condicionado durante 10h em um dia, o custo seria de R\$0,60 por dia e em um mês com 20 dias, R\$ 12 por mês.

4.6 Resumo de cálculos térmicos

Com o intuito de facilitar a visualização das análises dos cálculos relativos a desempenho térmico e consumo de energia, foi elaborado um quadro resumo dos resultados, a seguir.

Os comparativos de temperaturas não são expostos no quadro devido a necessidade visualização da variação durante todo o dia, sendo de maior eficiência a análise e compreensão dos gráficos apresentados anteriormente.

Quadro 7 - Quadro resumo de cálculos térmicos

	PROTÓTIPO 3	PROTÓTIPO 4 ETICS	VALOR MÁX. NBR 15575/2013	REDUÇÃO DE P3 PARA P4
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (W/m ² .K)	3,53	0,67	2,5	≈81%
CARGA TÉRMICA- PONTO CRÍTICO EM 08-08-2015 (W)	1646,26	534,26	X	≈67%
CONTRIBUIÇÃO MÁX. FACHADA NA CARGA TÉRMICA TOTAL EM 08-08-15 (W)	1344,48(fachadas) de 1646,26 (total)	193(fachadas) de 495(total)	X	81% para 39%
CONSUMO DE ENERGIA HORA CRÍTICA (kW.h) E CUSTO EM 08-08-15	0,535 R\$0,40	0,182 R\$0,14	X	≈65%
CONSUMO DE ENERGIA MÉDIO (kW.h) E CUSTO EM 08-08-2015	0,261 R\$0,19	0,0837 R\$0,06	X	≈68%
CUSTO EM UM MÊS DE USO DE AR CONDICIONADO (10h p/ dia – 20 dias p/ mês) com base em 08-08-2015	R\$40,00	R\$12,00	X	≈70%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

4.7 Custos do ETICS e tempo de retorno do investimento

4.7.1 Custos

Os custos discriminados dos materiais e da mão de obra para execução do ETICS no protótipo são apresentados no quadro a seguir.

Quadro 8 - Quadro de custos de materiais e mão de obra do ETICS

	QUANT. TOTAL	UNIDADES	UNIDADE DE COMPRA	PREÇO UNITÁRIO	CUSTO	CUSTO/m ²	
1. MATERIAL							
1.1 ARGAMASSA COLANTE AC II	80	kg	4	Sacos de 20kg	R\$ 19,90	R\$ 79,60	R\$ 4,12
1.2 PLACAS DE EPS (e=50mm)	1,2	m ³	10	Placas 2mx1,2mx0,05	R\$ 36,40	R\$ 364,00	R\$ 18,85
1.3 REDE DE FIBRA DE VIDRO (L= 1m)	25	m	1	Rolo 1x50m	R\$ 248,90	R\$ 248,90	R\$ 12,89
1.4 PERFIL METÁLICO DE ARRANQUE	10	m	1,3	P/ kg = R\$36,53	R\$ 36,53	R\$ 47,49	R\$ 2,46
1.5 PARAFUSO + BUCHA	160	pç	160	unidade	0,2	R\$ 32,00	R\$ 1,66
1.6 ARRUELA	160	pç	160	unidade	0,2	R\$ 32,00	R\$ 1,66
1.7 CIMENTO	100	kg	2	sacos de 50kg	R\$ 27,00	R\$ 54,00	R\$ 2,80
1.8 CAL	100	kg	4	sacos de 20kg	R\$ 14,00	R\$ 56,00	R\$ 2,90
1.9 AREIA MÉDIA	500	kg	20	sacos de 25kg	R\$ 4,00	R\$ 80,00	R\$ 4,14
1.10 TINTA BRANCA	3,6	L	1	Lata - Doação Tintas Nobre		R\$ 24,00	R\$ 1,24
1.11 SUBTOTAL					SUBTOTAL =	R\$ 1.017,99	R\$ 52,72
2. MÃO DE OBRA							
2.1 PEDREIRO + SERVENTE			16	horas	R\$ 35,00		
2.2 SUBTOTAL					SUBTOTAL =	R\$ 560,00	
*ÁREA TOTAL DE FACHADA ISOLADA = 19,31m²					TOTAL =	R\$ 1.577,99	R\$ 81,72

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

O custo total dos materiais relativos ao isolamento térmico tipo ETICS foi de R\$ 1.017,99, sendo que parte do custo pode ser excluído do total pois qualquer edificação necessitaria de acabamento com reboco e tinta, ou seja, R\$215,00 do total não é exclusivo ao Sistema.

A instalação do ETICS teve um custo final de R\$1577,99, correspondente a R\$81,72 por m² de fachada. Com mão de obra especializada os custos com reboco seriam menores, pois devido ao leve desnivelamento das placas de EPS, o reboco externo ficou com 3 cm, sendo que a orientação técnica especifica que neste sistema 1 cm de reboco sobre as placas é suficiente para o bom acabamento da fachada.

4.7.2 Tempo de retorno do investimento

No cálculo do tempo de retorno do investimento, foram considerados os custos mensais com ar condicionado do protótipo 3, apresentados no quadro 6.

Considerando *Pay-Back* simples, o investimento do ETICS de R\$ 1363,00 (excluído o valor do reboco e pintura) teria um tempo de retorno de 7 anos, considerando que seja necessário a utilização de ar condicionado em 5 meses por ano, 20 dias por mês, e 10 horas por dia, para condições de verão.

O tempo de retorno do investimento será menor que o calculado se considerado o aumento do custo de energia e também o uso de ar condicionado ou outros equipamentos de aquecimento elétricos também no período de inverno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando as pesquisas bibliográficas, entre dissertações, revistas, apresentações de congressos, notas de aula e informações obtidas com Professores que atuam nas áreas abordadas no presente documento, percebe-se a importância da pesquisa em relação a utilização de isolamento térmico na construção civil brasileira, principalmente nas paredes externas das edificações, pois é uma técnica não inserida no modo de construir do nosso País.

No Brasil existem projeções para um mercado mais sustentável e tecnológico que o nosso modelo atual, destacando-se itens como eficiência energética e energias renováveis, e os regulamentos destinados a estes fins, como o regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais, comerciais e públicas. Já as normas regulamentadoras, NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013), apresentam requisitos mínimos de desempenho térmico pouco impactantes, não gerando exigências normativas que obriguem as construtoras a produzirem edificações com envoltórias de menor transmitância térmica e conseqüentemente menor necessidade de climatização artificial.

A partir das exigências previstas nas normas brasileiras, os cálculos de transmitância térmica foram realizados de acordo com as características dos materiais dos protótipos analisados. Foi notória a redução do valor de transmitância térmica do protótipo 4, que inicialmente tinha a mesma composição do protótipo 3 e após a aplicação do ETICS obteve uma redução 81% da transmitância térmica, ou seja, diminuiu severamente a facilidade de troca de calor entre meio interno e externo através das paredes da edificação.

Partindo da transmitância térmica, verificou-se também uma grande redução no cálculo da carga térmica, utilizada no dimensionamento de ar condicionado necessário para edificação, sendo assim, a redução do consumo energético em relação ao protótipo 3 foi de

68%, considerando a média diária de uma amostra, e a temperatura base interna de 25°C para efeitos de cálculo.

Os gráficos comparativos de temperaturas internas demonstraram duas características satisfatórias do protótipo isolado frente ao desempenho térmico de verão: A manutenção da temperatura em níveis de conforto com pouca oscilação e a amplitude da diferença de temperatura de pico, ou seja, das máximas diárias, sempre registrando as temperaturas do protótipo ETICS mais amenas do que o protótipo 3, e consideravelmente mais confortáveis que a temperatura externa.

A análise feita primeiramente com as janelas abertas apresentou bons resultados como pôde ser visto nos gráficos do presente documento, porém, o sistema fica vulnerável a ação do vento e ao calor nesta área sem barreira física.

Já com a vedação das aberturas, os resultados são mais satisfatórios do que os anteriores. Nos dias 09/11/15 e 10/11/15, foram registradas temperaturas externas na casa dos 33°C enquanto o sensor do protótipo ETICS registrou máxima na casa dos 25°C. Assim, em um dia de calor consideravelmente forte, não seria necessário o uso de nenhum equipamento para resfriamento do ambiente.

Com as análises feitas, observou-se que a aplicação de isolamento térmico pelo exterior interferiu positivamente na eficiência energética da edificação, principalmente quando não havia aberturas de janelas, pois diminuiu consideravelmente os ganhos de calor da envoltória, e conseqüentemente manteve as temperaturas internas em níveis de conforto térmico, demonstrando através de cálculos de carga térmica a redução do uso ar condicionado, e a verificação da manutenção da temperatura interna em níveis de conforto sem necessidade de uso de climatização quando as janelas foram vedadas.

Dentre os sistemas de isolamento térmico de paredes externas, ficou evidenciado o bom potencial do sistema ETICS utilizando EPS como material isolante, devido às vantagens e à fácil adaptação aos sistemas construtivos correntes no Brasil, destacando também a possibilidade de reabilitação térmica em edifícios já existentes, pois não interfere na estrutura e causa incômodo mínimo aos usuários por ser uma obra que se dá totalmente pelo exterior da edificação.

A fim de explicar os efeitos de um acabamento comum no desempenho térmico, através de cálculos foi feita também a simulação de uma edificação que tivesse a fachada com paredes de largura final equivalente ao protótipo 4 (19 cm). Portanto, realizou o cálculo de transmitância térmica e carga térmica para uma parede externa com largura total de 19 cm (tijolo= 15 cm, reboco= 4 cm) e pintura na cor branca. Este implemento já reduziria o valor do consumo energético em relação as características do protótipo 3, porém estima-se que aproximadamente 15% do custo seria reduzido, enquanto o ETICS gerou uma redução de 68% conforme demonstrado no presente trabalho.

Por fim, conclui-se que há necessidade de evolução do modo de construir no Brasil, para que possamos atingir um padrão maior de eficiência energética das edificações, seguindo as tendências de países desenvolvidos, de construções com maior sustentabilidade, sendo uma das diretrizes a utilização de sistemas de isolamento térmico, com grande potencial para utilização do ETICS, em relação a custos e eficiência energética.

Como sugestão de continuação do estudo, incentiva-se a aplicação de isolamento térmico mais eficiente na cobertura, de análises em condições de inverno, e também do comparativo do ETICS com outros sistemas de isolamento térmico, como fachadas ventiladas e paredes de pano duplo, para visualização dos custos de cada sistema e suas vantagens.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 19 Mai. 2015

ANDREIS, Cínthia. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/129677/330266.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 12 Mar. 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1. Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2. Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3. Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 15575** –Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

_____ **NBR 15575** –Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 4. Rio de Janeiro, 2013.

_____ **NBR 15575** –Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 4. Rio de Janeiro, 2013.

_____ **NBR 16401** – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 1. Rio de Janeiro, 2008.

_____ **NBR 16401** – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2. Rio de Janeiro, 2008.

_____ **NBR 16401** – Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO IBÉRICA DE XPS (AIPEX). **Soluções de Isolamento Térmico com Poliestireno Extrudido (XPS) para uma construção sustentável.** Disponível em: <http://www.aipex.es/panel/uploads/descargas/cat_xpsPORT.pdf>. Acesso em: 7 Fev. 2015

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS FABRICANTES DE ARGAMASSAS E ETICS (APFAC). LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES (LFC). **Relatório - LFC-IC-282A-2014:** Patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS. Porto, Portugal, 2014. Disponível em: <<http://www.apfac.pt/patologias/LFC-IC-282A-2014.pdf>>. Acesso em: 24 Mar. 2015

CARLO, Joycena C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações não-residenciais.** Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2008. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em: 17 Mar. 2015

CHAIBEN, Cátia A. P. Branco. **Sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS):** Avaliação preliminar de viabilidade para sua aplicação no Brasil. 2014. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/>>. Acesso em: 29 Abr. 2015

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos:** planejamento, elaboração e apresentação. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

COSTA, Ennio C. **Física aplicada à construção civil:** conforto térmico. 4º ed. São Paulo, 2003.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado.** 6ª Ed. Rio de Janeiro, 2010.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Documento de Homologação DH 911. Weber.Therm Classic:** Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior, Lisboa, Portugal, 2010. Disponibilizado pelo Instituto Politécnico de Leiria. Leiria, Portugal.

FREITAS, Vasco P.; Gonçalves, Pedro F. **Isolamento térmico de fachadas:** Reboco Delgado armado sobre Poliestireno Expandido. Porto, Portugal: FEUP, 2005. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ETICS.pdf>>. Acesso em: 18 Fev. 2015

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual do conforto térmico.** 8ª ed. São Paulo, 2007.

GOLDEMBERG, José. **Pesquisa e desenvolvimento na área de energia.** São Paulo, 2000. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000300014>. Acesso em: 3 Maio 2015

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificado LEED.** Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acesso em: 14 Mai. 2015

INCROPERA, Frank P., et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** Rio de Janeiro, 2011.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre, 2010.

LIA, Luiz R. B.; QUITES, Eduardo E. C. **Introdução a transferência de calor: Notas de aula**, 2001.

LAMBERTS, Roberto. **Eficiência energética na arquitetura**. 2º ed. São Paulo, 2004.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress térmico**. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. Florianópolis: UFSC, 2014. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. Acesso em: 4 Abril 2015

MASCARÔ, Juan L.; MASCARÔ, Lucia. **Uso Racional de Energia em Edificações: Isolamento térmico**. São Paulo, 1992.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional – BEN 2014**. Relatório Final. Brasília, 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 17 Mar. 2015

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional – BEN 2014**. Relatório Síntese. Brasília, 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 17 Mar. 2015

NETO, Vitor E. C. **Aplicações modernas de aglomerado de cortiça expandida (ICB) na construção**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2012. Disponível em: http://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/Teses20122s/VitorNeto/Tese_VitorNeto.pdf. Acesso em: 24 Mar. 2015

NOTAS DE AULA. **Disciplina: Física das Construções**. Curso de Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Leiria (IPL). Portugal, 2014. Acervo particular do autor.

ROAF, Sue. **Adaptação de edificações às mudanças climáticas: um guia de sobrevivência para o século XXI**. Porto Alegre, 2009.

SCHMID, Aloísio L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba, 2005.

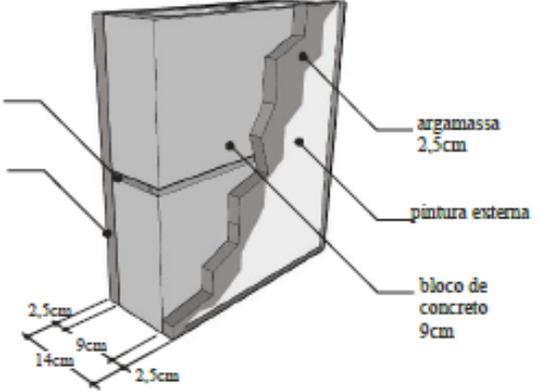
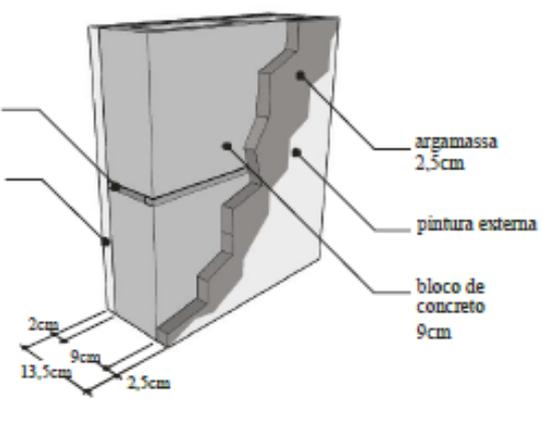
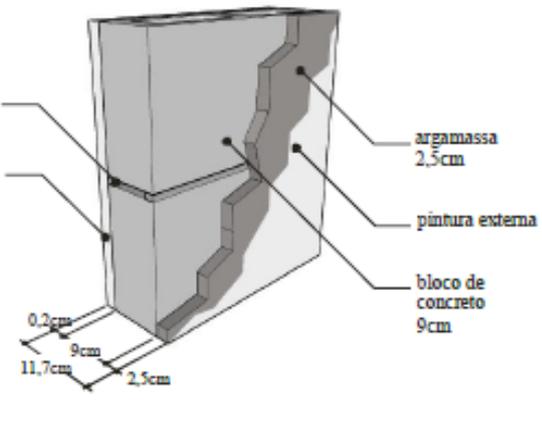
SCHMIDT, Frank W. **Introdução as Ciências Térmicas: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor**. São Paulo, 2004.

SILVA, José de C. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros**. Rio de Janeiro, 2007.

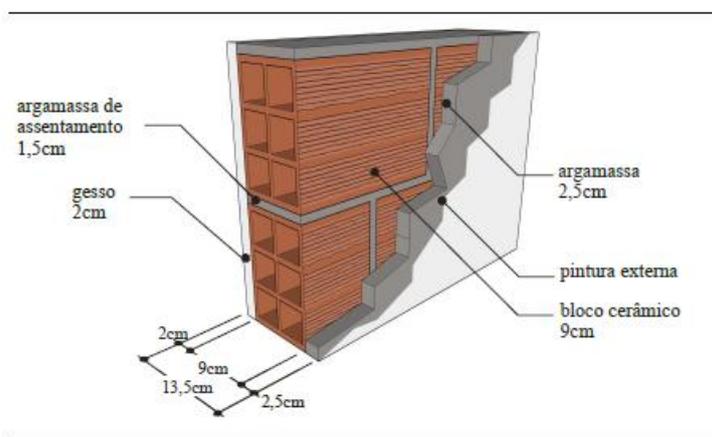
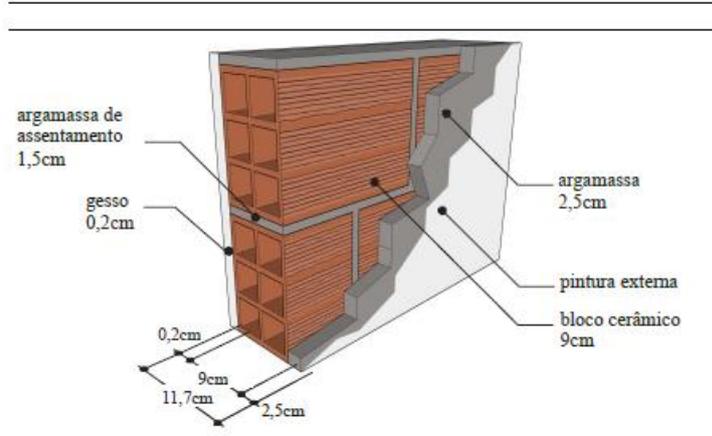
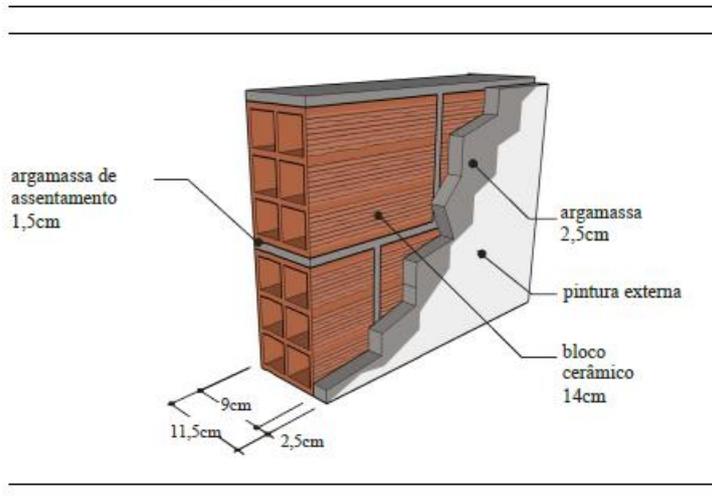
VILA REAL, José Alexandrino M. F. **Análise técnico-económica de várias soluções de isolamento térmico a aplicar em elementos de construção**. Tese de Mestrado em Construção de Edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 1990. Disponível em: <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/12539>. Acesso em: 8 Mar. 2015

ANEXOS

ANEXO A – PARTE DO CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES.

 <p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>pintura externa</p> <p>bloco de concreto 9cm</p> <p>2,5cm</p> <p>9cm</p> <p>14cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição: 1</p> <p>Argamassa interna (2,5cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">U</th> <th style="text-align: center;">C_T</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">[W/(m²K)]</th> <th style="text-align: center;">[kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2,78</td> <td style="text-align: center;">209</td> </tr> </tbody> </table>	U	C_T	[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]	2,78	209
U	C_T						
[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]						
2,78	209						
 <p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>gesso 2cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>pintura externa</p> <p>bloco de concreto 9cm</p> <p>2cm</p> <p>9cm</p> <p>13,5cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição: 2</p> <p>Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">U</th> <th style="text-align: center;">C_T</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">[W/(m²K)]</th> <th style="text-align: center;">[kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2,72</td> <td style="text-align: center;">178</td> </tr> </tbody> </table>	U	C_T	[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]	2,72	178
U	C_T						
[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]						
2,72	178						
 <p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>gesso 0,2cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>pintura externa</p> <p>bloco de concreto 9cm</p> <p>0,2cm</p> <p>9cm</p> <p>11,7cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição: 3</p> <p>Gesso interno (0,2cm) Bloco de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">U</th> <th style="text-align: center;">C_T</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">[W/(m²K)]</th> <th style="text-align: center;">[kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2,97</td> <td style="text-align: center;">159</td> </tr> </tbody> </table>	U	C_T	[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]	2,97	159
U	C_T						
[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]						
2,97	159						

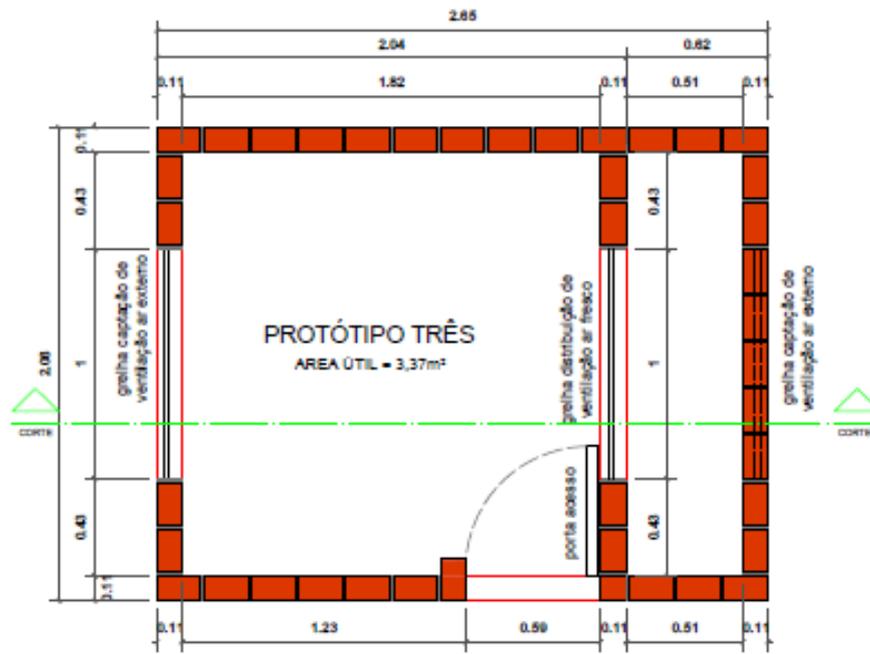
ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 50/ 2013

 <p>argamassa de assentamento 1,5cm gesso 2cm argamassa 2,5cm pintura externa bloco cerâmico 9cm</p> <p>2cm 9cm 13,5cm 2,5cm</p>	<p>Descrição: 10</p> <p>Gesso interno (placa 2,0cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)</p> <table border="1" data-bbox="941 716 1197 896"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,37</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]	2,37	120
U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]				
2,37	120				
 <p>argamassa de assentamento 1,5cm gesso 0,2cm argamassa 2,5cm pintura externa bloco cerâmico 9cm</p> <p>0,2cm 9cm 11,7cm 2,5cm</p>	<p>Descrição: 11</p> <p>Gesso interno (0,2cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)</p> <table border="1" data-bbox="941 1164 1197 1332"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,59</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]	2,59	100
U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]				
2,59	100				
 <p>argamassa de assentamento 1,5cm argamassa 2,5cm pintura externa bloco cerâmico 14cm</p> <p>9cm 11,5cm 2,5cm</p>	<p>Descrição: 12</p> <p>Sem Revestimento Interno Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)</p> <table border="1" data-bbox="941 1612 1197 1832"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,61</td> <td>98</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]	2,61	98
U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]				
2,61	98				

<p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>pintura externa</p> <p>bloco cerâmico 14cm</p> <p>14cm</p> <p>16,5cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição: 17</p> <p>Sem revestimento interno Bloco cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,96</td> <td>106</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]	1,96	106
U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]				
1,96	106				
<p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>bloco Cerâmico 14cm</p> <p>14cm</p>	<p>Descrição: 18</p> <p>Sem revestimento interno Bloco cerâmico (14,0 x 9,0 x 24,0cm) Sem revestimento externo</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,37</td> <td>56</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]	2,37	56
U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]				
2,37	56				
<p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>tijolo maciço 9cm</p> <p>10cm</p>	<p>Descrição: 19</p> <p>Sem revestimento interno Tijolo maciço (10,0 x 6,0 x 22,0cm) Sem revestimento externo</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3,65</td> <td>158</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]	3,65	158
U [W/(m ² K)]	C _T [kJ/m ² K]				
3,65	158				

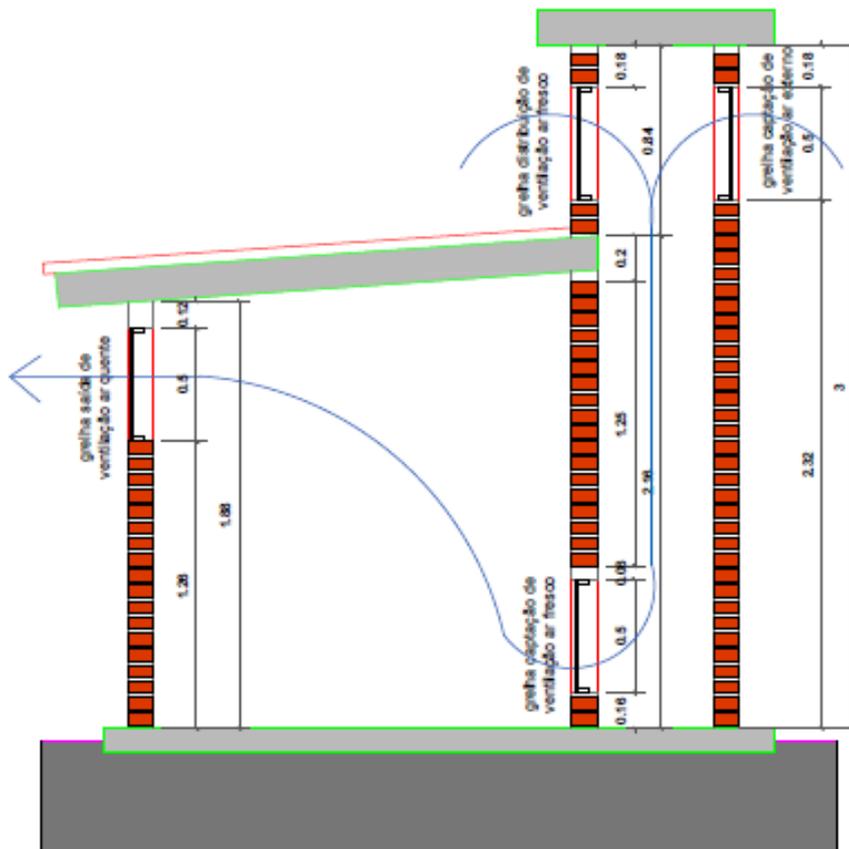
<p>argamassa 2,5cm</p> <p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>bloco de concreto 14cm</p> <p>aluminio composto</p> <p>poliestireno 8cm</p> <p>2,5cm</p> <p>14cm</p> <p>19cm</p> <p>8cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição: 26</p> <p>Argamassa interna (2,5cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Poliestireno (8cm) Placa de alumínio composto</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,32</td> <td>228</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]	0,32	228
U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]				
0,32	228				
<p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>placa melamínica</p> <p>bloco cerâmico 9cm</p> <p>2,5cm</p> <p>9cm</p> <p>14cm</p> <p>>5cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição: 27</p> <p>Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Câmara de ar (> 5cm) Placa melamínica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,63</td> <td>121</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]	1,63	121
U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]				
1,63	121				
<p>argamassa 2,5cm</p> <p>argamassa de assentamento 1,5cm</p> <p>argamassa 2,5cm</p> <p>bloco de concreto 14cm</p> <p>placa melamínica</p> <p>2,5cm</p> <p>14cm</p> <p>19cm</p> <p>> 5cm</p> <p>2,5cm</p>	<p>Descrição: 28</p> <p>Argamassa interna (2,5cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Câmara de ar (> 5cm) Placa melamínica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>U [W/(m²K)]</th> <th>C_T [kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,82</td> <td>242</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]	1,82	242
U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]				
1,82	242				

ANEXO B – PLANTAS ARQUITETÔNICAS DOS PROTÓTIPOS.



PLANTA BAIXA

Escala
0,00 m 0,25 m 0,50 m 1,00 m



CORTE

Escala
0,00 m 0,25 m 0,50 m 1,00 m

ANEXO C – PLANILHA DE CÁLCULO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

CÁLCULOS DE RESISTÊNCIA TÉRMICA E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE ACORDO COM NBR 15220/2005				
1. PROTÓTIPO 3				*Alterar só valores em verde
1.1 Resistência Térmica	$R=e/k$	$e =$ espessura	$k =$ condutividade térmica	
Dados relativos ao fluxo de calor horizontal				
	Tijolo	Argamassa	EPS	Reboco
Espessura "e" (m)	0,11	0,11	0	0
Resist. Térmica ($m^2.K/W$)	0,1222	0,0957	0	0
Área de troca térmica (m^2)	0,0105	0,0039	0	0
Seção A (Tijolo Cerâmico):				
Resistência Térmica A (R_a) =	0,1222 $m^2.K / W$			
Área da Seção A (A_a) =	0,0105 m^2			
Seção B (Argamassa):				
Resistência Térmica B (R_b) =	0,0957 $m^2.K / W$			
Área da Seção B (A_b) =	0,0039 m^2			
A) Resistência Térmica da parede =				
	$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} =$			
$R_t = 0,1136$	$m^2.K / W$			
B) Resistência Térmica Total RT				
	$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$			
$RT = 0,2836$	$m^2.K / W$			
1.2 Transmitância Térmica	$U = 1/RT$			
$U = 3,5256$	$W/m^2.K$			
2. PROTÓTIPO 4 - ETICS				
2.1 Resistência Térmica	$R=e/k$	$e =$ espessura	$k =$ condutividade térmica	
Dados relativos ao fluxo de calor horizontal				
	Tijolo	Argamassa	EPS	Reboco
Espessura "e" (m)	0,11	0,11	0,05	0,03
Resist. Térmica ($m^2.K/W$)	0,1222	0,0957	1,1905	0,0261
Área exposta ao fluxo (m^2)	0,0105	0,0039	total	total
Seção A (Tijolo Cerâmico):				
Resistência Térmica A SEM ETICS(R_a) =	0,1222 $m^2.K / W$			
Área da Seção A (A_a) =	0,0105 m^2			
Seção B (Argamassa):				
Resistência Térmica B SEM ETICS (R_b) =	0,0957 $m^2.K / W$			
Área da Seção B (A_b) =	0,0039 m^2			
A) Resistência Térmica da parede com ETICS =				
	$R_t \text{ parede} + R_{etics}$			
$R_{pared} = 0,1136$	$m^2.K / W$			
$R_{etics} = 1,2166$	$m^2.K / W$			
$R_t = 1,3302$	$m^2.K / W$			
C) Resistência Térmica Total RT				
	$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$			
$RT = 1,5002$	$m^2.K / W$			
1.2 Transmitância Térmica	$U = 1/RT$			
$U = 0,6666$	$W/m^2.K$			

PROTÓTIPO 3

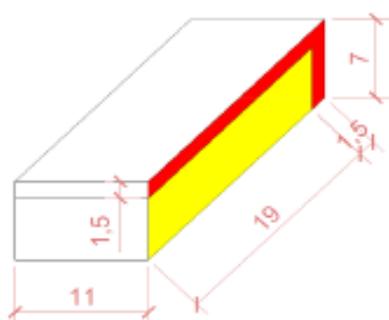
① Argamassa
② Tijolo cerâmico

PROTÓTIPO 4

① Argamassa
② EPS
③ Tijolo cerâmico

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS - NBR 15220-2 / 2005			
Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Capacidade Térmica (kJ/kg.K)	Densidade aparente (kg/m ³)
Tijolo maciço	0,9	0,92	1600
Argamassa	1,15	1	1900
EPS*	0,042	1,42	14
Concreto armado	1,75	1	2300
Telha Cerâmica	0,9	0,92	1400
*Dados do material retirados de tabela de produtos da empresa KNAUF			

DIMENSÕES DOS ELEMENTOS			
	Comprimento(m)	Largura(m)	Altura (m)
Tijolo maciço	0,19	0,11	0,055
Argamassa junta horiz.	0,19	0,015	
Argamassa junta vertical		0,015	0,07



RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERNA E EXTERNA					
Rsi (m ² .K)/W			Rse (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,1	0,17	0,04	0,04	0,04