

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

SUZANA FETTER FAGUNDES

**SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA E PROPOSTA DE MELHORIA EM ESPAÇOS
DE ENSINO E APRENDIZAGEM:
ESTUDO DE CASO CAMPUS UNISINOS SÃO LEOPOLDO**

SÃO LEOPOLDO

2016

Suzana Fetter Fagundes

SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA E PROPOSTA DE MELHORIA EM ESPAÇOS
DE ENSINO E APRENDIZAGEM:
Estudo de caso campus Unisinos São Leopoldo

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Daniel Reis Medeiros
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Wander

São Leopoldo
2016

Ficha catalográfica

F156s Fagundes, Suzana Fetter
Simulação termoenergética e proposta de melhoria em
espaços de ensino e aprendizagem : estudo de caso
campus Unisinos São Leopoldo / por Suzana Fetter
Fagundes. – 2017.
82 f. : il., 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio
dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo, 2016 .

Orientação: Prof. Dr. Daniel Reis Medeiros.

1. Sala de aula. 2. Desempenho térmico. 3. Simulação
energética. 4. Energy Plus. I. Título.

CDU 72:621.3

Suzana Fetter Fagundes

SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA E PROPOSTA DE MELHORIA EM ESPAÇO
DE ENSINO E APRENDIZAGEM:

Estudo de caso campus Unisinos São Leopoldo

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 05 de janeiro de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mauricio Mancio – UNISINOS

Prof.^a Dr.^a Roberta Krahe Edelweiss – UNISINOS

A minha família, meu porto seguro, pelo seu amor e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

A minha família, pelo apoio e suporte durante este processo.

Aos amigos, pelos momentos de ócio criativo.

Aos mestres e colegas por compartilharem conhecimentos.

“Do mesmo modo que o metal enferruja com a ociosidade e a água parada perde sua pureza, assim a inércia esgota a energia da mente. ”

Leonardo Da Vinci.

RESUMO

A habitabilidade do espaço construído afeta a capacidade produtiva das pessoas. Neste sentido, cabe verificar alternativas para otimizar o desempenho térmico das edificações, garantindo condições adequadas de conforto. Pesquisas realizadas no campus São Leopoldo da Universidade do Rio dos Sinos (UNISINOS), junto ao corpo discente, apontaram a necessidade de climatização das salas de aula. Este estudo se propõe a avaliar as condições atuais de temperatura dessas salas e investigar alternativas, através de simulações termoenergéticas, para aprimorar o desempenho térmico das edificações existentes. Com o uso do *software* Energy Plus foram analisados cenários alterando as características da envoltória da edificação com objetivo de aprimorar seu desempenho térmico e, com isso, reduzir a necessidade de sistemas artificiais de climatização. O estudo ponderou aspectos de viabilidade técnica e econômica de implantação e operação dos sistemas em um bloco de salas de aula tomado como piloto. Além disso, realizou uma comparação dos sistemas simulados com propostas técnicas obtidas no mercado. Os resultados mostram que, ao associar um sistema de climatização com a alteração da cor da cobertura para branco, é possível reduzir o consumo de energia em até 37,34%. O investimento necessário para a implantação dessa solução, pintura da cobertura e instalação de aparelhos de ar condicionado, gera um *payback* de 13,1 anos.

Palavras-chave: Sala de aula. Desempenho térmico. Simulação energética. Energy Plus.

ABSTRACT

Built space habitability affects productive capacity of people. In this sense, it is necessary to search for alternatives to optimize the thermal performance of buildings, aiming to ensure adequate comfort conditions. Surveys carried out with the student body of Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), at São Leopoldo campus, pointed out the need of classrooms thermal comfort enhancement. This study proposes to evaluate the current temperature conditions of those rooms and to investigate alternatives to improve thermal performance of existing buildings by means of thermoenergetic simulations. Using Energy Plus software, settings were analyzed considering possible changes on characteristics of the building envelope in order to improve its thermal performance and, therefore, reduce the need for artificial climatization systems. The study considered aspects of technical and economic feasibility of implantation and operation of the systems in a set of classrooms taken as pilot. In addition, the simulated systems were compared with technical proposals obtained in the market. The results show that combining air conditioning with changing the color of the roof the white, it is possible to reduce energy consumption by up to 37.34%. The payback for implementation of this solution, painting the roof white and installing the air conditioning equipment is 13.1 years.

Key-words: Classroom. Energy simulation. Thermal Performance. Energy Plus.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Situação atual	51
Gráfico 2: Situação atual com períodos de stress térmico	52
Gráfico 3: Situação atual em graus-hora	53
Gráfico 4: Análise mensal da situação atual sala 1	54
Gráfico 5: Análise mensal da situação atual da sala 4	54
Gráfico 6: Análise mensal da situação atual em graus-hora na sala 1	55
Gráfico 7: Análise mensal da situação atual em graus-hora na sala 4.....	55
Gráfico 8: Compartivo de horas no <i>setpoint</i> de temperatura	58
Gráfico 9: Comparativo dos sistemas de iluminação.....	59
Gráfico 10: Compartivo de horas no <i>setpoint</i> de temperatura	61
Gráfico 11: Comparativo Esquadrias.....	61
Gráfico 12: Desempenho de telhas em horas de conforto	64
Gráfico 13: Desempenho de telhas em graus-horas	64
Gráfico 14 : Desempenho das telhas em dia crítico de verão	65
Gráfico 15: Desempenho das telhas em dia crítico de inverno	66
Gráfico 16: Comparativo de desempenho de telhas em graus-hora	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução histórica de conceitos de sustentabilidade	17
Figura 2: Dimensões da sustentabilidade	18
Figura 3: Fatores que influenciam o conforto térmico	20
Figura 4: Carta bioclimática de Olgyay.....	24
Figura 5: Diagrama bioclimático de Givoni.....	25
Figura 6: Diagrama método Vogt E Miller-Chagas	26
Figura 7: Zoneamento bioclimático brasileiro.....	28
Figura 8: Mapa do RS com localização da Unisinos	36
Figura 9: Vista do bloco B10	37
Figura 10: Vista geral dos blocos de sala de aula.....	38
Figura 11: Mapa do campus Unisinos São Leopoldo.....	39
Figura 12: Imagens das salas em estudo.....	40
Figura 13: Planta baixa do bloco B10.....	41
Figura 14: Planta baixa mobiliada da sala de aula	42
Figura 15: Etapas da pesquisa.....	44
Figura 16: Corte esquemático do bloco B10	47
Figura 17: Fatores de influência de carga térmica ao longo do ano.....	56
Figura 18: Imagem esquemática de telha com proteção térmica.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características de utilização do ambiente: parâmetros adotados	43
Tabela 2: Propriedades dos materiais: parâmetros utilizados nas simulações	47
Tabela 3: Parâmetros analisados.....	49
Tabela 4: Parâmetros adotados na simulação da situação atual	50
Tabela 5: Parâmetros adotados na simulação do cenário 1	57
Tabela 6: Parâmetros adotados na simulação do cenário 2	60
Tabela 7: custo de alteração de cobertura	63
Tabela 8: Resumo de valores das propostas comerciais	68
Tabela 9: Consumo anual dos sistemas de ar-condicionado	69
Tabela 10: Comparativo do consumo dos sistemas de climatização conforme alterações na envoltória	70
Tabela 11: Análise de potencia	70
Tabela 12: Resumo de valores das propostas comerciais ajustadas.....	71
Tabela 13: <i>Payback</i> de implantação do sistema mais econômico	71

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACS	<i>Adaptive comfort standard</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
GHA	Grau-hora de aquecimento
GHR	Grau-hora de resfriamento
IES	Instituições de ensino superior
ISO	<i>International Standard Organization</i>
MEC	Ministério da Educação
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NR	Norma Regulamentadora
ONU	Organização das Nações Unidas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Unisinos	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
VRF	Vazão de refrigerante variável (<i>variable refrigerant flow</i>)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 Delimitação do Tema	15
1.3 Justificativa	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Sustentabilidade	17
2.2 Conforto térmico	19
2.3 Arquitetura bioclimática	22
2.4 Condicionamento térmico	28
2.5 Eficiência energética	31
2.6 Simulação termoenergética	32
2.7 Estudos anteriores	34
3 OBJETO DE ESTUDO	36
3.1 Localização	36
3.2 Características da edificação estudada	37
3.3 Características de utilização do ambiente	43
3 METODOLOGIA	44
3.1 Análise documental	44
3.2 Coleta de dados da edificação	45
3.3 Dados de mercado	45
3.4 Simulação termoenergética	45
3.4.1 Caracterização dos parâmetros adotados.....	46
3.4.2 Temperatura e renovação de ar.....	48
3.5 Parâmetros de análise de resultados	48
3.6 Análise de resultados	49
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 Situação atual	50
4.2 Soluções Passivas	56
4.2.1 Cargas internas	57
4.2.1.1 Iluminação	57

4.2.2	Cargas Externas	59
4.2.2.1	Esquadrias.....	59
4.2.2.2	Cobertura.....	62
4.3	Sistemas de climatização	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
7	TRABALHOS FUTUROS.....	75
	REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

A educação de futuras gerações é sem dúvida um dos fatores de maior impacto no desenvolvimento de um país. É fundamental, para isto, garantir qualidade de ensino, a qual depende de diversos fatores, tais como capacitação do corpo docente, processos pedagógicos adequados, mas também das condições físicas dos ambientes de aprendizagem. O espaço construído afeta o comportamento e a capacidade produtiva das pessoas. (SARBU, PACURAR, 2015; NICO, LIUZZI, STEFANIZZI, 2015)

O desempenho do ser humano, seja para o desenvolvimento de uma tarefa, seja para um melhor rendimento escolar, está relacionado ao conforto ambiental, isto é, as condições de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica do ambiente devem ser adequadas ao trabalho desenvolvido. (DA GRAÇA, 2007)

Na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), percebe-se a importância de garantir condições de conforto aos alunos, permitindo assim maior rendimento de suas atividades. No entanto, a estrutura física existente foi construída nos anos 70, e desde então, houve uma grande evolução técnica. O que antes era improvável, hoje é exigência. Com o aumento da vida útil das edificações, a renovação e adaptação do ambiente construído impõe uma crescente demanda por novas tecnologias e equipamentos. (KURUL, 2007; LANGSTON et al. 2007). Este intenso avanço resultou numa crescente demanda de energia elétrica

A busca por qualificação tecnológica dos ambientes vem atrelada à preocupação com a sustentabilidade, otimização dos recursos e redução do consumo, que passou a ser constante após a crise energética que ocorreu no final da década de 70, a qual transformou profundamente a economia mundial. (FURTADO, 2003; PIRES, 2013).

Embora a Matriz Energética Brasileira, no que tange energia elétrica, conte com a participação de fontes renováveis em torno de 74,6%, uma das mais elevadas do mundo, é preciso ainda evitar o desperdício de energia, pois hidroelétricas e plantações, mesmo que gerem energias renováveis, têm um grande impacto ambiental. (BRASIL, 2014)

Importa, portanto, verificar hipóteses para otimizar o desempenho térmico das edificações e reduzir a necessidade de sistemas artificiais para estabelecer condições adequadas de habitabilidade em salas de aula, minimizando a dependência energética.

As variáveis arquitetônicas têm grande influência no consumo da edificação, especialmente no que tange ao condicionamento ambiental, pois este representa em torno de 64% do consumo. Neste sentido, projetistas e construtores têm uma grande responsabilidade no consumo final de energia elétrica da edificação. (GELLER, 1994). Algumas soluções simples de projeto com um melhor aproveitamento do clima, planejando posicionamento da edificação no terreno, posição das esquadrias a fim de facilitar a ventilação cruzada, aplicação de *brises* (dispositivos de sombreamento), reduzem a carga térmica da edificação, evitando assim o desperdício de energia e aumentando o bem estar de alunos e professores.

Entretanto, umas das maiores dificuldades encontradas nos dias de hoje é a adaptação de edificações existentes ao padrão de conforto exigido pela sociedade contemporânea. Grande parte do impacto ambiental de uma edificação está na sua construção, então, quando possível, deve-se prever o aproveitamento das estruturas existentes. Moretini (2007) menciona que, em geral, as ações de reabilitação de um edifício tendem a buscar soluções para patologias construtivas e problemas de funcionalidade que surgem com a modificação dos usos. A modernização de instalações e equipamentos possibilita a reutilização da edificação.

Segundo Bullen (2007), a reabilitação de um edifício possibilita a redução de consumo de energia e estende a vida útil da edificação e, como resultado, os recursos utilizados na sua construção são aproveitados por mais tempo, garantindo também a redução de impacto ambiental.

Um dos maiores desafios da Unisinos, atualmente, é identificar os melhores recursos tecnológicos e estratégias de adequação das estruturas existentes que atendam ao padrão de qualidade exigido atualmente sem, entretanto, onerar a universidade com custos de implantação, operação e manutenção excessivos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar as condições atuais de temperatura nas salas de aula do campus Unisinos São Leopoldo e, através de simulações termo

energéticas, propor cenários para aprimorar o desempenho térmico da edificação com vistas a melhorar as condições de habitabilidade para os alunos.

1.1.2 Objetivos Específicos

A pesquisa tem por objetivos específicos:

- a) Identificar sistemas passivos que possam ser aplicados às edificações existentes para aprimorar o desempenho térmico;
- b) Identificar sistemas mecânicos de climatização disponíveis no mercado que possam ser aplicados à situação existente;
- c) Analisar, por meio de simulações, melhores cenários de combinações dos sistemas ativos e passivos sob o ponto de vista técnico-econômico;
- d) Reduzir a necessidade de sistemas mecânicos de climatização visando redução do consumo energético.

1.2 Delimitação do Tema

O presente trabalho limita-se ao estudo de uma edificação existente no campus Unisinos São Leopoldo. O campus tem 67 prédios construídos, que abrigam salas de aula, laboratórios, gabinetes, biblioteca e diversos serviços e conveniências. Destes 67 prédios, 30 são blocos de sala de aula que possuem a mesma tipologia, com implantação e características construtivas idênticas. Considerando a padronização dos blocos de salas de aula, o estudo adotará o bloco B10 para realizar simulações no software EnergyPlus.

Serão testados cenários analisando as características da edificação existente e seu uso, ponderando parâmetros para melhoria de desempenho térmico que possam ser aplicados às edificações existentes considerando limitações técnicas e financeiras. Desta forma, alternativas que exijam grandes obras de adaptação serão desconsideradas, pois sua implantação seria economicamente inviável.

As simulações realizadas no Energy Plus utilizarão os dados climáticos da cidade de Porto Alegre, devido indisponibilidade de dados da cidade de São Leopoldo, considerando à proximidade física entre as duas cidades, que distam apenas 30km entre si. Ainda que Porto Alegre esteja classificada em outra zona bioclimática,

entende-se que os dados desta cidade, em função da proximidade e das características de altitude, são os que mais se assemelham. As simulações serão realizadas para o período de um ano, excluindo os meses de janeiro, fevereiro, julho e a segunda quinzena do mês de dezembro, pois estes são períodos de recesso acadêmico. O sombreamento, gerado pela vegetação existente, não foi considerado para fins deste estudo. Os sistemas de climatização serão simulados utilizando como base os modelos disponibilizados na biblioteca de exemplos do *Energy Plus*.

1.3 Justificativa

A UNISINOS a cada ano realiza uma pesquisa com seu corpo discente, na qual um dos pontos avaliados é a infraestrutura disponível aos alunos. O resultado da pesquisa apontou que a falta de climatização nas salas de aula é hoje um item de grande relevância.

As edificações são construídas para durar muitos anos; segundo a NBR 15.575/2013, o tempo mínimo de vida útil de uma edificação é 50 anos, porém durante um período longo como este, muitas tecnologias surgem, muitos hábitos se modificam. O desafio é a renovação e adaptação da edificação com uma crescente demanda por novas tecnologias dentro de preceitos de sustentabilidade. (KURUL, 2007; LANGSTON et al. 2007).

As variáveis arquitetônicas têm grande influência no consumo de uma edificação, especialmente no que tange ao condicionamento ambiental (GELLER, 1994). Estima-se que a redução do consumo de energia com projetos arquitetônicos adequados possa ser em torno de 30% em relação a outros projetos que ofereçam níveis similares de conforto. (SIGNOR, 1994). Diante disso, cabe identificar e avaliar sistemas passivos para melhorar o desempenho térmico, reduzindo a necessidade de sistemas mecânicos de climatização e, por consequência, o consumo energético da edificação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico abrange a revisão bibliográfica de temas relevantes ao entendimento do problema. Ao longo do desenvolvimento deste capítulo serão abordados os seguintes assuntos: sustentabilidade, conforto, arquitetura bioclimática, condicionamento térmico, eficiência energética, simulação termoenergética e estudos anteriores.

2.1 Sustentabilidade

A importância da sustentabilidade tem evoluído ao longo dos anos. A figura 1 (abaixo) apresenta um resumo deste progresso. O conceito de sustentabilidade amplamente difundido nos dias atuais é a definição dada pela ONU, do relatório Brundtland (1987, p.9): “a capacidade de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades”.

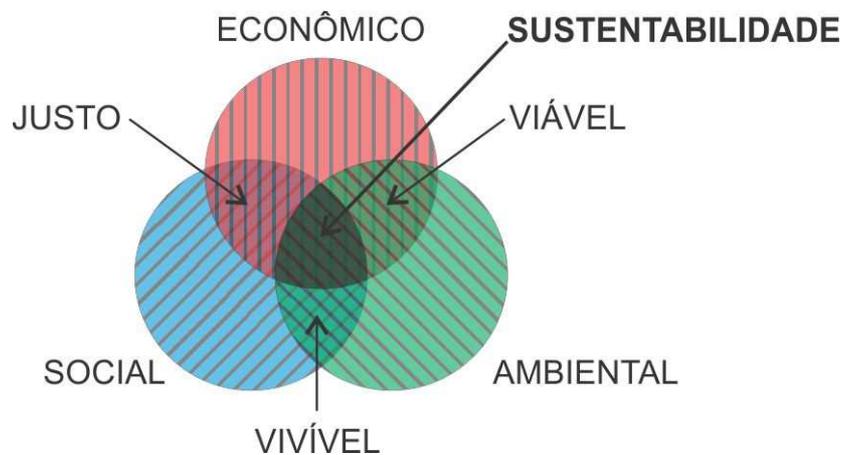
Figura 1: Evolução histórica de conceitos de sustentabilidade

Ano	Evento	Contribuição
1971	Conferência de Founex (Suíça).	Levanta a importância de integrar o meio ambiente às estratégias de desenvolvimento discutindo os efeitos colaterais sobre o meio ambiente provocados pela atividade agrícola.
1974	Declaração de Cocoyok, das Nações Unidas.	Afirma que a causa da explosão demográfica era a pobreza, que também gerava a destruição desenfreada dos recursos naturais. Os países industrializados contribuíam com aquele quadro com altos índices de consumo.
1975	Relatório Dag-Hammarskjöld-ONU	Afirma que as potências coloniais concentraram as melhores terras das colônias nas mãos de uma minoria, forçando a população a usar outros solos, promovendo a devastação ambiental.
1980	Estratégia de Conservação Mundial-UICN	Neste documento já consta uma seção intitulada "Em direção ao Desenvolvimento Sustentável", talvez a primeira vez em que o termo sustentabilidade tenha sido usado como um objetivo a ser alcançado.
1987	Comissão Mundial da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED)	Apresentou documento chamado <i>Our Common Future</i> , mais conhecido relatório Brundtland, que diz que "Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades". O documento demanda crescimento tanto em países industrializados como em subdesenvolvidos, inclusive ligando a superação da pobreza nestes últimos ao crescimento contínuo dos primeiros.
1992	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - Rio92	Mostrou um crescimento do interesse mundial pelo futuro do planeta, muitos países deixaram de ignorar as relações entre desenvolvimento sócio-econômico e modificações no meio ambiente.
2015	Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas - Paris - COP21	Teve o propósito de comprometer a sociedade global com iniciativas de preservação e recomposição ambientais, com evidências de um maior engajamento de nações fundamentais como China e Estados Unidos, alinhando-se para concretização de acordos internacionais visando à proteção do meio ambiente e a diminuição de emissões de CO2. (PARODE,2016)

Fonte: Adaptado de Rossetto (2003)

No que tange à sustentabilidade, devem ser conjugadas três dimensões: econômica, ambiental e social. A figura 2, representa esses fatores e suas sobreposições. A visão econômica tem a finalidade de que os empreendimentos sejam viáveis, uma vez que devam abranger também os fatores sociais, como melhor distribuição de renda, fim da miséria e educação para todos. O aspecto ambiental tem como finalidade a verificação da interação dos sistemas com o meio ambiente garantindo que não haja danos permanentes, ou seja, um uso racional dos recursos naturais disponíveis. O social estabelece a necessidade de uma relação justa entre os parceiros. Juntos, esses três aspectos, formam os pilares da sustentabilidade. (MEDEIROS; OLIVEIRA, 2012)

Figura 2: Dimensões da sustentabilidade



Fonte: adaptado de Oliveira (2012)

O tripé do desenvolvimento sustentável ainda possui um grande obstáculo, que é a homogeneização da importância dada aos três aspectos. Hoje, os objetivos econômicos na maior parte das vezes têm um peso maior, deixando a relação desequilibrada. Um grande avanço nesta área foi o desenvolvimento do sistema de normatização ISO, da série 14000, que tem como objetivo o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental. (ROSSETTO, 2003)

O desafio do desenvolvimento sustentável é a otimização dos recursos buscando a máxima eficiência, ou seja, reduzir a demanda energética, mas manter o atendimento das necessidades da população, satisfazendo assim os três critérios, viabilidade econômica, utilidade social e harmonia com meio ambiente. (PROCEL EDIFICA, 2011).

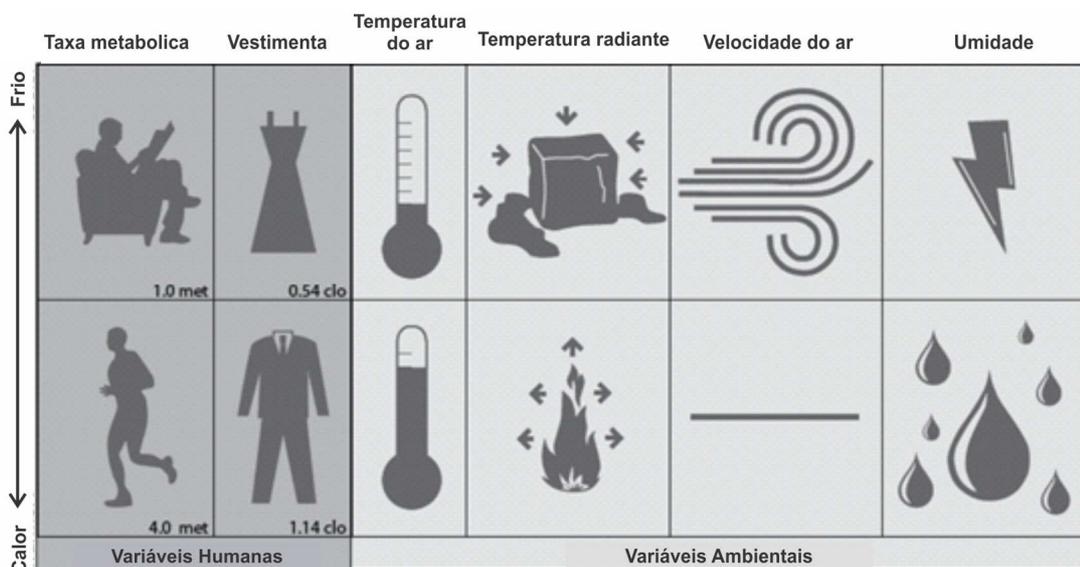
2.2 Conforto térmico

Os primeiros estudos sobre conforto térmico datam do início do século XX. Esses estudos tinham o objetivo principal de avaliar de que maneira as condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar, afetavam o ser humano no desenvolvimento de suas tarefas. Os primeiros estudos nesta área foram desenvolvidos pela Comissão Americana de Ventilação em 1916. Deve-se destacar também os estudos de Olgyay (1963), Fanger (1972) e Givoni (1976). (FARIA, 2013)

Lamberts (2004), com base na definição da ASHRAE 55, descreve conforto térmico como “o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”. A NBR 15220-1/2003 define como ‘satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente’.

Quando falamos de conforto térmico, o questionamento mais relevante para a solução do tema em estudo é a definição de quais fatores são determinantes para o conforto do usuário. Pode-se observar na figura 3, os seis itens que, segundo a norma ASHRAE 55, têm influência no conforto do usuário: o metabolismo, a vestimenta, a temperatura do ar, a radiação térmica, a velocidade do ar e umidade. Destes, o metabolismo e a vestimenta são itens sobre os quais pouco se pode influenciar com arquitetura. Sendo assim, deve-se buscar equilibrar os fatores temperatura do ar, radiação, velocidade do ar e umidade, para encontrar o ponto adequado de conforto para o aluno.

Figura 3: Fatores que influenciam o conforto térmico



Fonte: Adaptado de ASHRAE 55-2004

O equilíbrio termofisiológico do corpo humano é a interação com os fatores apresentados na figura 3, ou seja, com as variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar) com variáveis pessoais do ocupante (taxa metabólica e vestuário). Além disso, aspectos culturais (experiências e preferências) também contribuem para isso.¹ Portanto a sensação de bem-estar, conforto térmico, irá variar de indivíduo para indivíduo. A evolução biológica desenvolveu no ser humano a capacidade de regular a temperatura do seu corpo dentro de uma faixa de temperatura. A termorregulação, mesmo sendo o meio natural de controle, é um esforço desempenhado pelo corpo e por isso tem um impacto no desempenho da pessoa. A termorregulação acontece principalmente pela pele: seja por arrepios, suor, vasoconstrição ou vasodilatação, o organismo busca meios de regular a perda de calor. (LAMBERTS et al, 2005).

O ser humano desenvolve melhor atividades intelectuais quando a temperatura está entre 21°C e 25 °C. Estudos em relação a performance em ambientes de trabalho mostram diminuição no desempenho por 2% por grau celsius quando aumentada a temperatura no intervalo de 25°C a 32°C. (SEPPANEN, 2006). Em salas de aula,

¹ Disponível em <<http://www.comunitexto.com.br/conforto-ambiental-na-arquitetura/#.V12gGxBH87E>> – acesso em julho/2016

estudos apontam que estudantes em um ambiente confortável podem melhorar seu desempenho no que tange a atenção, concentração e aprendizagem. NICO (2015)

Em climas com alto conteúdo de umidade, como o da região onde está localizada a Unisinos, a temperatura deve ser entre 22 °C a 27 °C, para que se tenha conforto térmico. No entanto, a sensação de conforto é resultado da interação entre o ambiente, as exigências e hábitos dos usuários, ou seja, a percepção varia de acordo com valores psicológicos e socioeconômicos. (MASCARÓ e MASCARÓ, 1992). Conhecendo os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes do ambiente, evitam-se desperdícios com aquecimento e refrigeração, muitas vezes desnecessários. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004).

Quando uma pessoa é exposta a situações ambientais extremas de frio ou calor, este estado é considerado de stress térmico, nestas condições, o desempenho de suas atividades fica comprometido e em alguns casos acontece debilitação do estado geral de saúde, alterações das reações psicossensoriais. (LAMBERTS, XAVIER e GOULART, 2011)

No Brasil a Norma Regulamentadora, NR 17:2007, define condições de conforto para o trabalho, indicando que a temperatura deve estar entre 20 °C e 23 °C. Ainda tem-se a norma ISO 7730 (1994) que indica como verificar o conforto térmico em ambientes. Mais recente, a norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) que inclui um novo padrão de conforto, o chamado conforto adaptativo (*ACS: adaptive comfort standard*) que aceita temperaturas mais altas no interior de edifícios quando ventilados naturalmente durante o verão em zonas de clima mais quente. Esse modelo leva em consideração conceitos de aclimatação, que incluem fatores como demografia (gênero, idade, classe social), contexto (composição da edificação, estação, clima) e cognição (atitudes, preferências e expectativas). (FARIA, 2013; LAMBERTS, 2004)

Ribeiro (2004) menciona que no ambiente escolar, os aspectos físicos do conforto ambiental têm grande impacto nas experiências de aprendizado e desenvolvimento. Lamberts (2004) reforça que a performance humana é melhor quando realizada em conforto térmico.

2.3 Arquitetura bioclimática

O ambiente construído remete à busca do ser humano por abrigo e condições de conforto. A preocupação do homem com seu conforto tem relação direta com a evolução da humanidade (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997)

A bioarquitetura ou arquitetura bioclimática pressupõe o uso dos recursos ambientais para promover o conforto climático. Estratégias bioclimáticas, corretamente utilizadas, podem melhorar as condições de conforto térmico e redução no consumo de energia (LAMBERTS et alii, 1997).

Para construir, deveria-se levar em consideração as condições climáticas, utilizando os recursos disponíveis na natureza (sol, vegetação, chuva, vento) para minimizar os impactos ambientais e reduzir o consumo energético. Esses são os princípios básicos da arquitetura bioclimática.

Em 1992, Mascaró já apontava que o dispêndio de energia para a construção de uma edificação equivale a muitos anos de seu uso. Essa situação mostra a importância de se realizar estudos que melhorem a relação de consumo em edificações existentes, pois grande parte da energia é gasta na sua construção.

Há mais de 20 anos, Mascaró (1992) aponta o desconhecimento ou baixo prestígio por parte do corpo técnico de soluções bioclimáticas, que, quando bem aplicadas, poderiam reduzir significativamente o consumo de energia de uma edificação.

Roaf (2009, p.241) aponta o desenvolvimento tecnológico como fator que ocasionou a substituição dos sistemas naturais pelos artificiais.

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 os sistemas de condicionamento de ar estiverem operando, e precisam ser evacuadas quando as máquinas pararem!

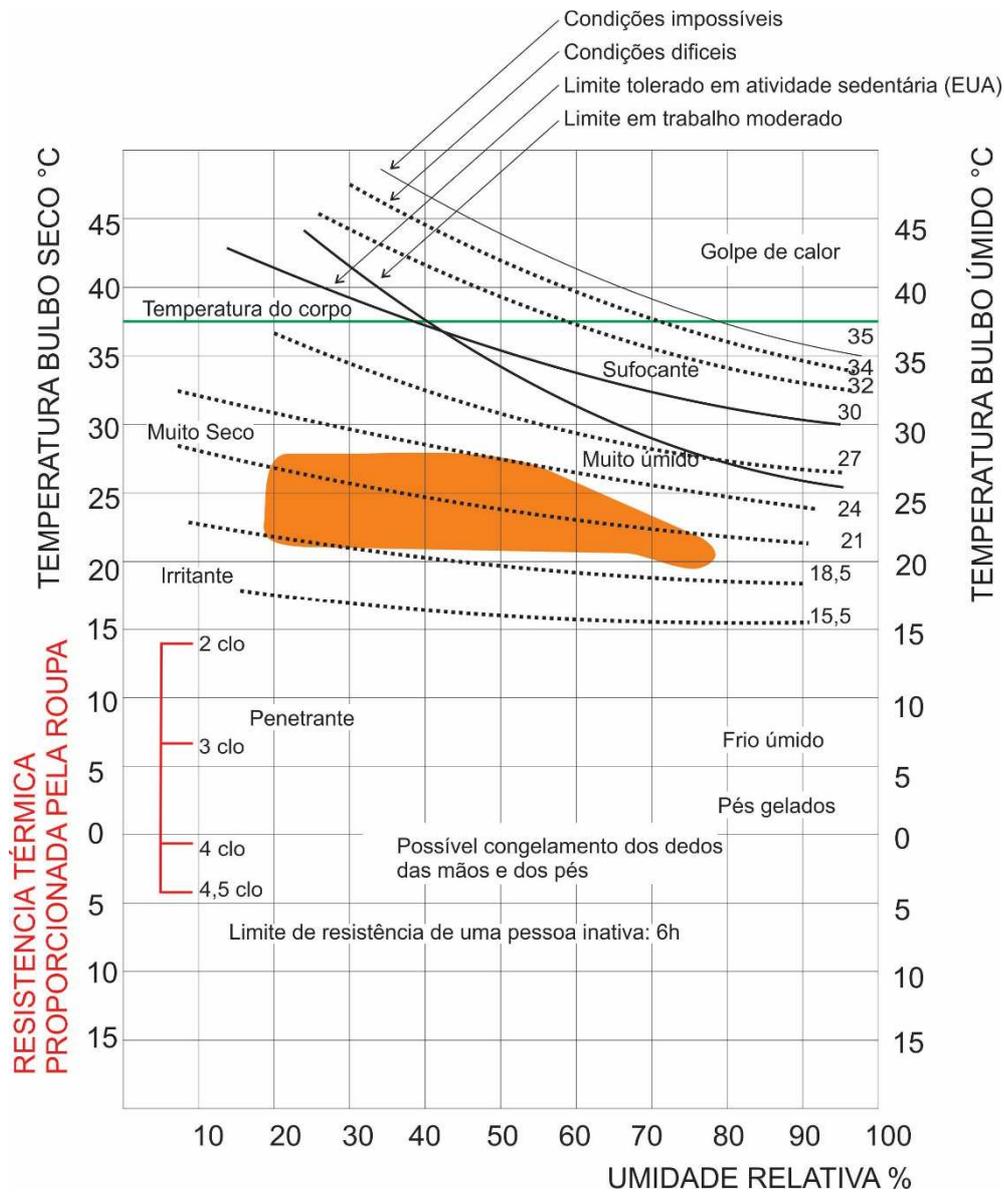
Essa dissociação entre o local e a arquitetura, apresenta grandes impactos em termos de eficiência energética. A arquitetura bioclimática, embora pareça um novo conceito é utilizada desde a antiguidade. Neste sentido, devemos entender qual a melhor forma de se obter conforto térmico sem onerar o meio ambiente. O uso racional de energia não significa a redução de serviços, mas um uso com maior eficiência. (CUNHA, 2006).

Para o desenvolvimento de projetos de climatização mecânica, é utilizada a carta psicrométrica. No caso do projeto bioclimático, os arquitetos e projetistas, utilizam cartas bioclimáticas simplificadas, que definem as zonas de conforto com base na radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e ventos. Esses documentos indicam zonas de conforto e estratégias para ampliar estas zonas. (FARIA, 2013; LAMBERTS, 2004).

Existem vários estudos na área das cartas bioclimáticas, porém deve-se destacar os seguintes: Carta bioclimática de Olgyay, Diagrama bioclimático de Givoni, Método Franger e o Método do voto médio predito.

Os irmãos Olgyay foram pioneiros nos estudos sobre conforto térmico. Buscaram estabelecer as relações entre os ambientes internos da edificação e o meio externo através de instrumentos teóricos destinados a uma concepção arquitetônica que aperfeiçoasse os benefícios desta relação. A partir desses estudos, surgiu um diagrama que relaciona temperatura do ar e umidade relativa, indicando assim uma zona de conforto a partir da relação entre estas duas variáveis. (IZARD, GUYOT, 1980). Foi a primeira representação gráfica a mostrar a relação entre o clima e o conforto humano, representada abaixo na figura 4.

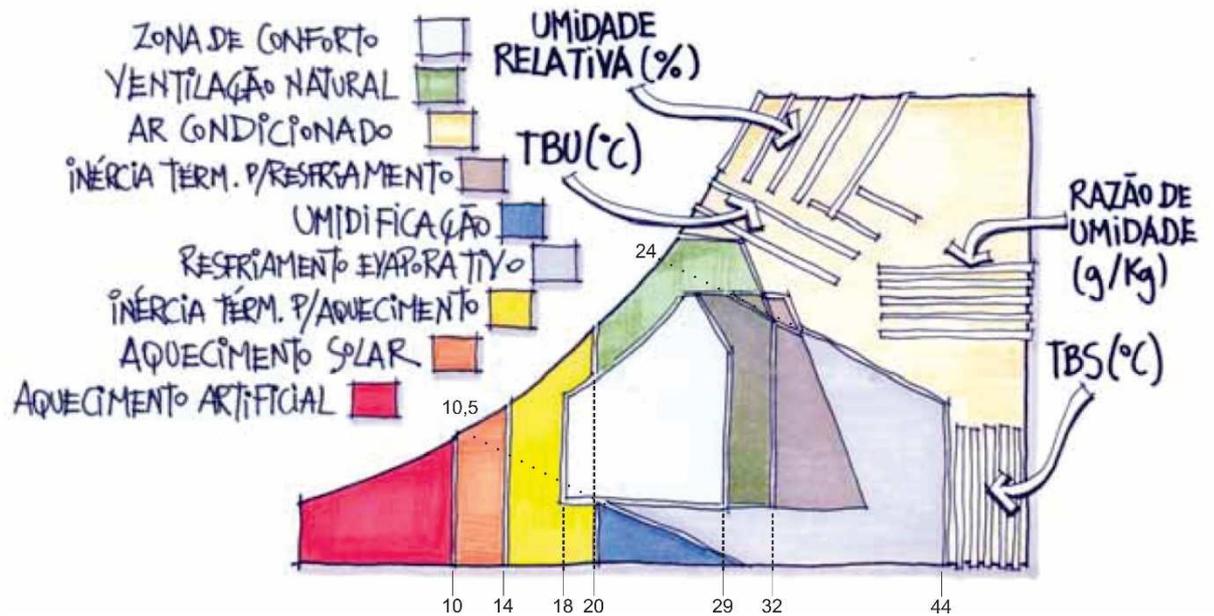
Figura 4: Carta bioclimática de Olgay



Fonte: adaptado de Izard e Guyot (1980)

Givoni, considerando o diagrama bioclimático de Olgay limitado, desenvolveu uma carta bioclimática, figura 5, para corrigir as limitações. A principal diferença dos sistemas é que Olgay traçou seu diagrama em um gráfico de dois eixos, enquanto Givoni utiliza uma carta psicrométrica.

Figura 5: Diagrama bioclimático de Givoni



Fonte: Lamberts (1997)

No diagrama exposto acima (figura 5), pode-se verificar que o conforto térmico (área branca) é obtido quando a umidade relativa varia de 20 a 80% e a temperatura entre 18 °C e 29 °C.

A área em tons verdes corresponde à ventilação, ou seja, a edificação pode ser resfriada e atingir a zona de conforto substituindo o ar quente interno pelo ar mais fresco externo.

Já a área demarcada em cinza claro prevê como solução para o conforto o resfriamento evaporativo, ou seja, aumentar a umidade relativa do ar para diminuir a temperatura.

Outra estratégia, indicada na área cinza claro, é a utilização de materiais construtivos com maior inércia térmica com o intuito de conservar os ambientes em temperaturas mais baixas.

A área amarelo-claro prevê a necessidade de utilização de resfriamento artificial para atingir a zona de conforto.

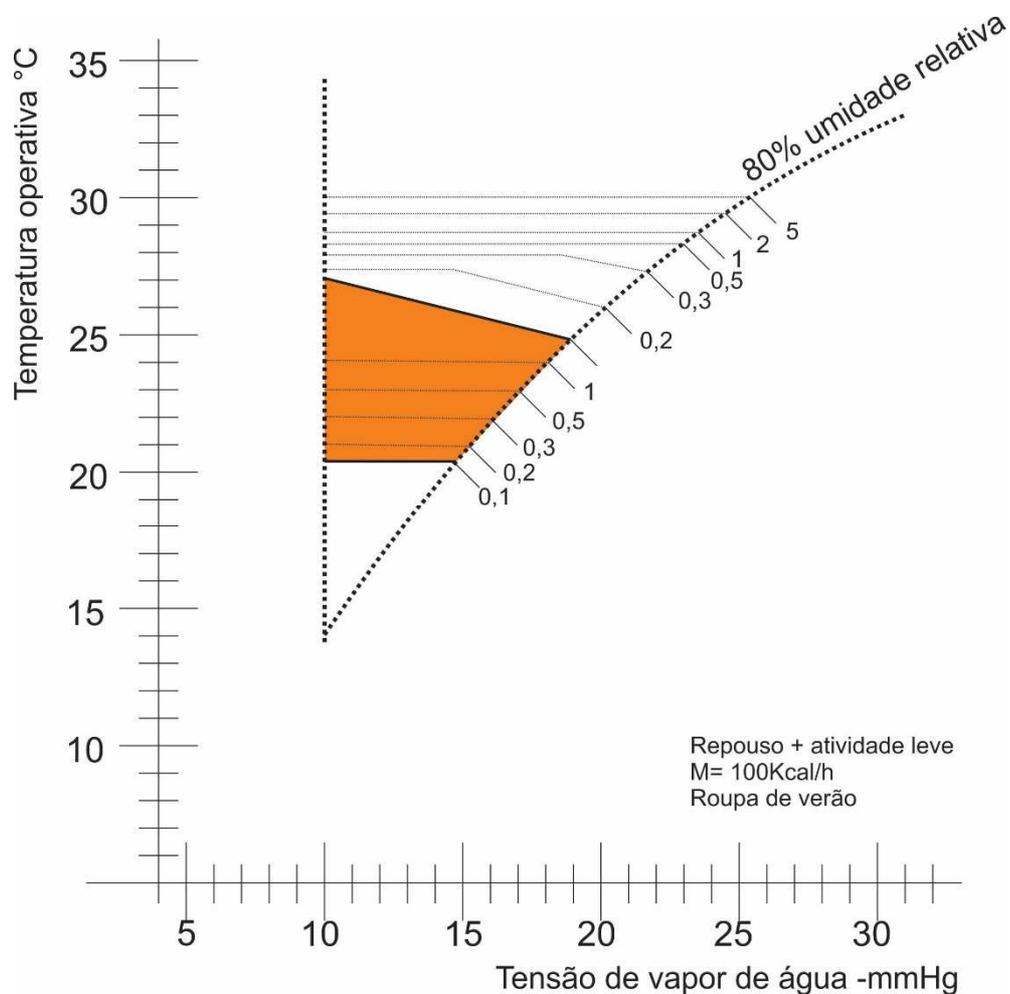
A área azul escuro indica a necessidade de umidificação dos ambientes para aumentar a umidade relativa do ar.

A área em amarelo prevê como solução para o conforto a utilização de componentes construtivos com maior inércia térmica para evitar perda de calor

Já a área laranja sugere a utilização do aquecimento solar e por fim, quando a temperatura é menor que 10,5 °C, é indicada a utilização de aquecimento artificial.

Já o método proposto por Vogt e Miler-Chagas, figura 6, estabelece sete condições básicas para sensação de conforto, que são: o equilíbrio da temperatura do corpo, temperatura da pele em média de 33 °C, suor máximo limitado a 100 g/h, condição para realização da evaporação do suor produzido, manutenção do metabolismo, umidade acima de 10 mm Hg garantindo que as mucosas permaneçam umedecidas e por fim, que a umidade relativa do ambiente não deve ultrapassar 75-80%. (IZARD e GUYOT, 1980)

Figura 6: Diagrama método Vogt E Miller-Chagas



Fonte: Izard e Guyot (1980)

Voto médio predito, PMV (*Predicted Mean Vote*), criado por Fanger é hoje considerado o método mais completo para verificação de conforto. O método avalia a sensibilidade humana ao frio e ao calor, realizando análise experimental que considera indivíduos de diferentes nacionalidades, idades e sexo. Através de uma escala de valores, na qual zero indica uma condição de conforto, a numeração negativa representa o frio e a positiva a sensação de calor.

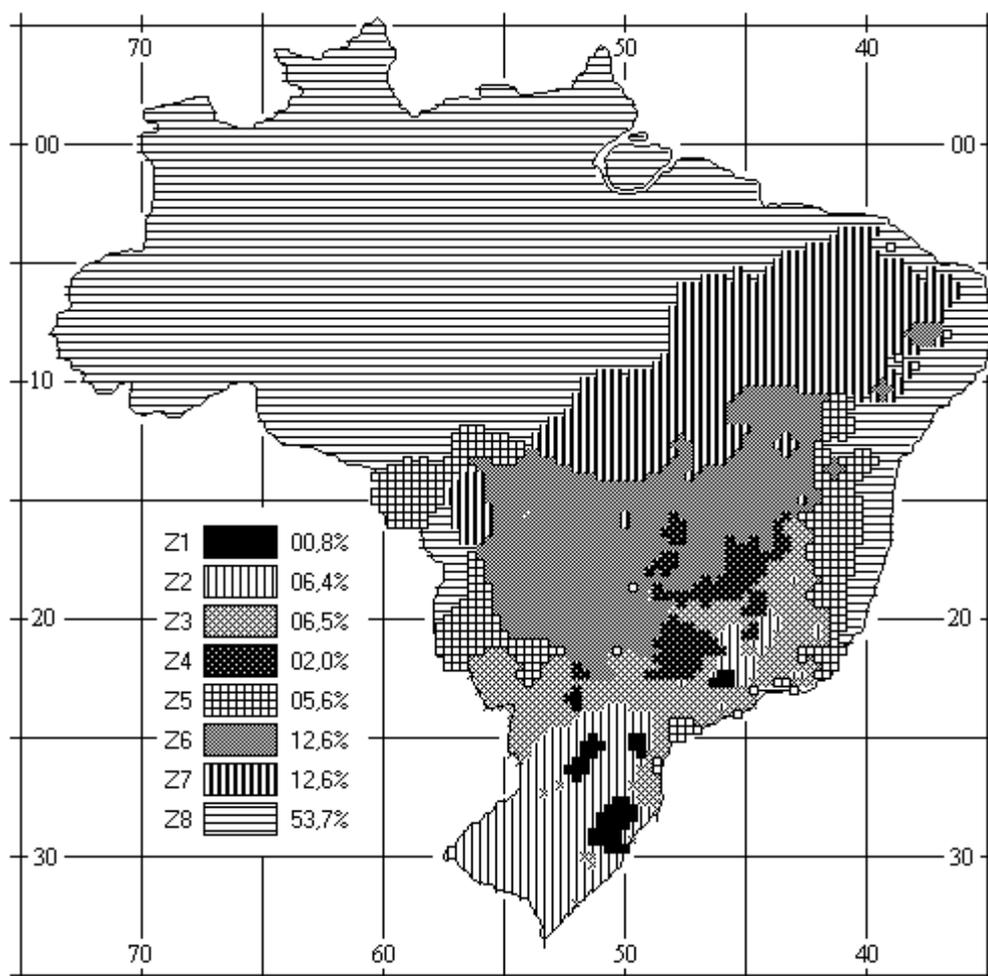
Estabelece também um percentual de pessoas insatisfeitas chamado de PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), que representa a porcentagem de pessoas em desconforto. A norma ASHRAE (2005) define que espaços para ocupação humana devem ter no máximo 10% de PPD. Considerando as características individuais de cada um, especificar um ambiente térmico que satisfaça a todos é improvável, assim a norma permite esse percentual de insatisfeitos. (LAMBERTS, 2004)

A norma NBR 15220 (ABNT, 2003), que trata do Desempenho Térmico de Edificações na sua 3ª parte divide o país em 8 diferentes zonas bioclimáticas. A norma define Zona bioclimática como região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. Com base nessa relação, estabelece critérios para o condicionamento térmico passivo, os quais levam em consideração os seguintes parâmetros: tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e estratégias de condicionamento térmico passivo.

O Rio Grande do Sul possui um clima subtropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas que alternam períodos frios com os períodos quentes. No verão apresenta temperaturas elevadas e no inverno, frio intenso. A amplitude térmica ao longo do dia também é grande, por isso o projeto arquitetônico deve apresentar estratégias de condicionamento térmico bastante diferenciado para esses períodos. (VETTORAZZI, 2010)

Cada clima exige diferentes estratégias para projetos arquitetônicos bioclimáticos, mas, em geral, utiliza-se a forma da edificação, a disposição das aberturas e o desempenho térmico dos materiais. A Norma NBR 15220 divide o país em oito zonas, conforme figura 7, e pontua aspectos construtivos para as diferentes zonas bioclimáticas do Brasil.

Figura 7: Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: NBR 15220/2003

2.4 Condicionamento térmico

O condicionamento térmico pode ser dividido em duas categorias: condicionamento térmico passivo e o condicionamento térmico ativo (mecânico ou elétrico).

Condicionamento passivo pode ser definido como aquele no qual a energia térmica flui através da edificação por meios naturais, pertinzendo o funcionamento do sistema sem aporte de energia exterior para alcançar o conforto térmico. O desenho

passivo pressupõe modificações de projeto para converter os recursos naturais em parte integrante da edificação. (THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, 1984)

Entre os sistemas de refrigeração passiva cabe destacar, para os fins desta pesquisa, a ventilação natural ou induzida e o controle da radiação solar direta.

Ventilação natural é importante não apenas pelo conforto, mas também para manter o ambiente saudável. Para obter-se um resfriamento por ventilação, a velocidade do ar é fator essencial. Quanto maior a velocidade do ar, maior sua capacidade de afetar o conforto. (HERTZ, 1998). Existem maneiras de estimular o movimento do ar sem a necessidade de sistemas mecânicos: a ventilação cruzada e o efeito chaminé.

Cabe mencionar que a ventilação não garante necessariamente uma melhoria de conforto, pois a troca de ar pode ocasionar tanto ganho como perda de calor, isso dependerá da diferença de temperaturas interna e externa. A ventilação provoca também uma sensação de alívio em climas com alto teor de umidade, pois auxilia no processo de transpiração, esse processo causa um efeito de sensação térmica menor que a real, pois incrementa a perda de calor do corpo. (ROAF, 2009a)

As superfícies expostas diretamente ao sol, como a cobertura, recebem e armazenam calor. Em climas quentes, faz-se necessário o controle da radiação solar direta. Mascaró (1992) afirma a relevância e a influência da inércia e isolamento térmicos de materiais aplicados nas paredes e coberturas. Esses materiais são determinantes da qualidade dos ambientes interiores.

O resfriamento por desumidificação pode proporcionar conforto em climas com alto índice de umidade. Onde há umidade em excesso o controle natural do corpo humano que acontece por transpiração é impedido, pois o suor não evapora. A desumidificação permite tornar confortáveis ambientes com temperaturas de 23°C a 30°C. Sistemas com placas salinas podem absorver grandes quantidades da água contidas no ar. Esses sistemas apresentam um inconveniente, pois a água adsorvida deve ser periodicamente removida para a regeneração do sistema. Os sistemas de desumidificação podem proporcionar grande alívio, especialmente em clima onde a perda do conforto se dá pela saturação de água no ar. (THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, 1984)

De acordo com Roaf, Fuentes e Thomas (2009), a indústria de condicionamento de ar é uma das mais poderosas do mundo, representando em 2014,

88 bilhões de dólares². Atualmente a maioria das edificações comerciais conta com algum sistema de climatização. As pessoas passam cada vez mais tempo em ambientes climatizados artificialmente.

Um sistema de condicionamento de ar pode ter como função: resfriar, aquecer, umidificar, ventilar, desumidificar, purificar o ar, visando assegurar as condições de salubridade e conforto das pessoas. (VILLANI, 2000; PROCEL EDIFICA, 2011)

Para selecionar o sistema adequado de climatização e garantir o conforto térmico, é necessário determinar a carga térmica do ambiente. O Manual de Sistemas de Ar Condicionado (PROCEL EDIFICA, 2011) classifica as cargas térmicas em dois tipos: internas e externas. As cargas externas são: radiação solar através de janelas, ganhos por condução em paredes e tetos, renovação de ar, infiltração e a diferença de temperatura exterior/interior. Já as cargas internas são: as pessoas, os equipamentos, a potência dissipada da iluminação e o contato com os ambientes adjacentes com temperaturas diferentes.

Quanto aos sistemas de ar condicionado, estes podem ser classificados da seguinte forma: pelo modo como a carga térmica é removida e pelo modo de distribuição. A remoção da carga térmica pode acontecer de forma direta ou indireta. Os sistemas de expansão direta resfriam o ar pelo contato direto com fluido refrigerante. Já os sistemas de expansão indireta utilizam água ou ar para esta função.

Os sistemas de distribuição podem ser nonozona e multizona. Zona é o espaço controlado por apenas um sensor, ou seja, em uma zona a temperatura é uniforme. Porém, essa é uma situação pontual, visto que na maioria dos casos, as necessidades não são uniformes. Assim os sistemas multizona permitem que os diversos espaços sejam controlados individualmente. (VILLANI, 2000; PROCEL EDIFICA, 2011).

Cabe destacar dois sistemas:

a. Sistema de ar-condicionado unitário é constituído por um ou mais equipamentos autônomos servindo a um ambiente isolado. Esse sistema pode ter equipamentos com ou sem vazão de refrigerante variável (VRF)

b. Sistemas de ar-condicionado central são constituídos por um conjunto de unidades de tratamento de ar de expansão direta, geralmente instaladas dentro do ambiente a que servem (designadas unidades internas). Cada unidade é operada e controlada independente das demais. O equipamento é suprido com fluido refrigerante

² <http://www.constructionweekonline.com/article-8564-global-hvac-market-to-hit-us88bn-in-2014/> - acesso em julho/2016

por uma unidade condensadora central, instalada externamente (designada unidade externa), assim como o sistema unitário pode ser com ou sem vazão de refrigerante variável (VRF).

2.5 Eficiência energética

Desde 1973, quando a primeira crise energética aconteceu, a economia mundial passou por profundas transformações. A preocupação com a otimização dos recursos e redução do consumo passou a ser constante. O consumo racional tornou-se uma necessidade mundial. Nesse contexto fica claro às grandes economias mundiais sua dependência em relação à energia. (PIRES,2013; FURTADO 2003).

A escassez dos combustíveis não renováveis e os impactos ambientais de outras fontes - como usinas nucleares - reforçam ainda mais a necessidade de utilização de energias renováveis. A Matriz Energética Brasileira hoje conta com a participação de renováveis em torno de 74,6% na geração de energia elétrica, uma das mais elevadas do mundo. (BRASIL, 2015)

Embora essa matriz de geração de energia elétrica seja em grande parte renovável, é preciso evitar seu desperdício, pois a construção de hidroelétricas e plantações, mesmo que renováveis, tem um grande impacto ambiental. (SIGNOR,1999)

Devido ao clima brasileiro predominantemente tropical, o consumo de energia para a climatização representa hoje 47% do consumo do setor comercial. Esse fator é ampliado ainda pelo crescimento econômico e por métodos construtivos inspirados em uma arquitetura internacional que desconsidera os fatores bioclimáticos do Brasil. (PROCEL, 2007; ROAF, 2009a)

A redução do consumo, portanto, faz-se necessária. Em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) iniciou programas para avaliação de desempenho de produtos e melhoria de eficiência energética. A eficiência energética é a relação entre a quantidade de energia útil contida em um trabalho e a energia gasta para realizá-lo. Cabe ressaltar a diferença entre dois termos: eficiência energética e conservação de energia. A eficiência energética se refere a uma relação entre o uso e o consumo. Já a conservação de energia envolve em um menor consumo, seja através de uma limitação de capacidade e/ou limitação de consumo.

Aksuto (1987) menciona que existem três aspectos que devem ser considerados do ponto de vista de consumo de energia em uma edificação: conteúdo energético predial, energia consumida pelas atividades e habitabilidade. Essa tríade mantém-se atual nos dias de hoje.

O conteúdo energético predial é a energia consumida para a construção da edificação, considerando seus materiais, o transporte destes materiais e as atividades desenvolvidas no canteiro de obras.

A energia consumida pelas atividades é aquela que resulta do uso de equipamentos indispensáveis às atividades desenvolvidas na edificação. Já a energia destinada à habitabilidade é aquela destinada a promover condições de conforto. Assim a reabilitação da edificação gera uma conservação de energia sob o aspecto do conteúdo energético, da edificação e uma maior eficiência nos aspectos de habitabilidade.

2.6 Simulação termoenergética

Com a popularização dos computadores no início dos anos 70, surgiram também as simulações paramétricas como modelo para identificar a influência das características construtivas de uma edificação na performance térmica e de consumo de energia. O procedimento é simples: criar uma linha de base para comparação e alterar uma variável por vez correlacionando os dados de entrada com os resultados obtidos, verificando assim os parâmetros que possuem maior influência e assim analisar os ganhos e perdas dos componentes frente à carga térmica da edificação. (PEDRINI, 2003).

A simulação cria um modelo computacional dos processos energéticos necessários para manter o ambiente confortável para os ocupantes de uma edificação. Permite criar um modelo da construção antes que esta exista, ou seja, reformada. Sendo assim é um processo muito mais rápido e barato que o processo de experimentação, pois possibilita a análise e comparação de vários cenários garantindo assim a otimização do projeto e soluções customizadas a cada edificação. (MELO, 2015) O uso de programas de simulação permite avaliar com agilidade e baixo custo o desempenho térmico e energético da edificação comparando diferentes alternativas de projeto. (MENDES, 2005).

Mendes (2005) menciona que através da simulação é possível estimar o consumo de uma edificação levando em consideração suas “características arquitetônicas, propriedades físicas dos materiais construtivos, cargas internas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso e ocupação” os dados como temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e ventos geralmente são obtidos através de arquivos de dados climáticos das 8760 horas do ano.

As simulações termoenergéticas permitem a obtenção de duas categorias de resultados para análise: carga térmica e análise energética. A carga térmica é utilizada para determinar o dimensionamento dos sistemas de climatização e analisar a influência dos diferentes materiais e soluções neste comportamento.

Os itens que têm influência direta na carga térmica são: insolação, condução e ocupação (equipamentos e pessoas). A insolação é o ganho de calor devido à irradiação solar sobre superfícies e denota a “importância da compreensão das condições climáticas e da geometria solar para a concepção de projetos”. (GONÇALVES, 2006). A condução é o fluxo de calor que acontece entre ambientes quando há diferença de temperatura. A ocupação é a influência da quantidade de pessoas e equipamentos no ambiente e também do tipo de atividade que estão exercendo no local, liberando mais ou menos calor.

Já a análise energética permite a visão do consumo e demanda de energia, permitindo uma avaliação do custo de operação e manutenção da edificação. (MELO, 2015)

Atualmente existem incontáveis *softwares* que permitem realizar simulações termoenergéticas, o site do PROCEL cita mais de 40 destes softwares.³ O *Energy Plus*, é um *software* desenvolvido e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e possui interface com diversos outros programas de desenvolvimento de projetos. As simulações computacionais são frequentemente realizadas utilizando uma combinação de softwares: um para modelagem tridimensional da edificação que permite a identificação de modelos construtivos que servem, posteriormente, para as análises do EnergyPlus.

A análise do desempenho termoenergético de uma edificação é bastante complexa devido ao número de variáveis interdependentes e requer conhecimentos multidisciplinares. O uso de software torna possível o desenvolvimento de modelos

³ <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E6B1AB72-B50E-4099-8939-6DAFA57BBC2A}>

que representam o comportamento das edificações e permite a simulação de diferentes cenários. É possível, através dos softwares, avaliar um grande número de alternativas entre elas “desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar” e estimar o consumo, custo e impacto ambiental de cada uma das alternativas.

2.7 Estudos anteriores

A literatura sobre conforto em ambientes de ensino é vasta e declara a influência do ambiente de aprendizagem na qualidade do ensino. De modo geral, a abordagem se dá por estudos de caso de projetos e avaliações pós-ocupação dos espaços e muitos deles voltados a aspectos pedagógicos. Existem estudos da metade do século XIX que já enfatizavam a importância do conforto ambiental em ambientes escolares. (DA GRAÇA, 2007). Contudo, existem ainda poucos estudos que analisam formas de melhorar o conforto através de uma adaptação de edificação existente, especialmente se considerar-se as características climáticas do estudo que este projeto propõe. A literatura (nos) traz muitos exemplos focados em sistemas ativos de climatização e principalmente modelos aplicados a ambientes de climas predominantemente frios.

Em 2014, na Universidade Federal de São Carlos (UFScar), foi desenvolvido um estudo intitulado “Conforto térmico no Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá: proposta para melhoria do desempenho térmico de um antigo CAIC”, no qual a autora analisou as soluções projetais que mostraram boas soluções bioclimáticas, como ventilação natural cruzada e proteção das fachadas. Embora os mecanismos para melhoria do conforto estivessem presentes na concepção da edificação, os dispositivos não eram utilizados corretamente, por desconhecimento por parte do usuário ou falta de manutenção. Goulart (2014) diagnosticou, por meio de medições que o grande ganho térmico do seu estudo de caso é proveniente da cobertura. Assim a conclusão que se chegou é a necessidade de melhoria do desempenho térmico da cobertura, aliada a questões de manutenção e conscientização do usuário. Esse conjunto de ações melhoraria a qualidade de vida do usuário.

Ao considerar-se as especificidades do clima que está sendo tratado neste estudo, pode-se citar ainda os trabalhos realizados pelo Laboratório de Eficiência

Energética em Edificações (LabEEE) que vem desenvolvendo pesquisas na área desde 1996 e está vinculado ao Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).⁴

Mendes (2005) traça um panorama geral que sintetiza o desenvolvimento da pesquisa na área de simulação do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil, com destaque para Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola Politécnica da USP, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Proarq/FAU

Fica claro na análise dos trabalhos citados que existe uma relação entre o desempenho dos alunos e professores e o conforto das edificações. Ambientes que estão fora da zona de conforto podem reduzir a atenção do aluno, limitando sua produtividade e desempenho. (AZEVEDO, 2002)

No cenário internacional, os estudos que mais se aproximam da realidade do clima brasileiro são os conduzidos na Ásia, onde há um clima bastante úmido como o do estudo proposto, contudo boa parte das pesquisas em relação à temperatura em salas de aula são conduzidos visando uma avaliação pós-ocupação como mostra o artigo de ZOMORODIAN, TAHSILDOOST e HAFEZI (2016) que faz um apanhado geral das pesquisas realizadas visando conforto térmico em edificações educacionais nos últimos 50 anos.

⁴ <http://www.labeee.ufsc.br/sobre>

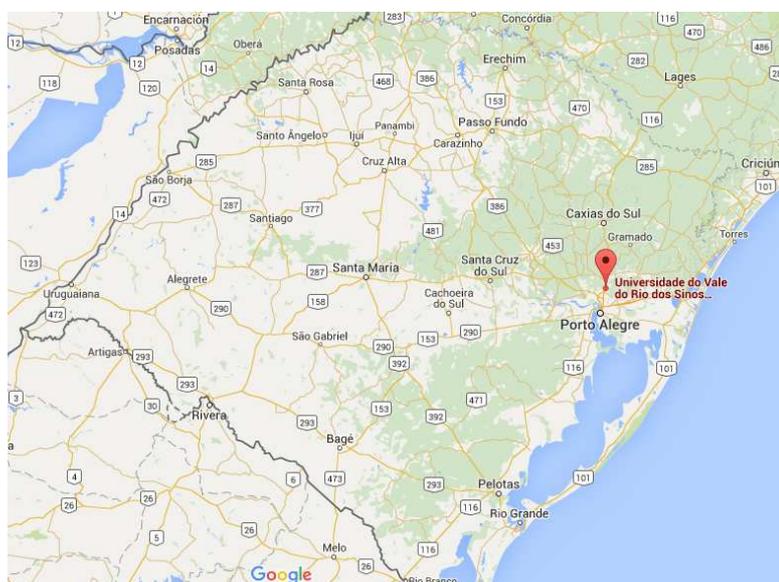
3 OBJETO DE ESTUDO

Este capítulo tem por finalidade apresentar informações e dados técnicos sobre a edificação em estudo: sua localização, suas características construtivas e o modo como é utilizada. Foram analisadas plantas, cortes, fachadas, imagens e realizadas verificações *in loco* para corroboração dos dados obtidos nos documentos.

3.1 Localização

A universidade está localizada no município São Leopoldo, RS (Latitude 29o45'37"s e Longitude 51o08'50"w, a uma altitude de 15m). Trata-se de um clima subtropical úmido, com verões quentes e invernos frios e chuvosos. Pela classificação climática de Köppen-Geiger é tipo Cfa, clima úmido com precipitação todos os meses do ano. A média anual de chuva é de 1440 mm. Em relação a temperaturas no verão é de 24,5 °C e no inverno de 14,3 °C, porém as máximas podem chegar a 40 °C no verão e próximo a 0 °C no inverno.

Figura 8: Mapa do RS com localização da Unisinos



Fonte: Google Maps ⁵

⁵ SÃO LEOPOLDO - RS. In: GOOGLE MAPS. Unisinos: Google, 2016. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Universidade+do+Vale+do+Rio+dos+Sinos,+Campus9> Em julho/2016

Para fins deste estudo, optou-se por utilizar os dados climáticos da cidade de Porto Alegre devido à proximidade física das duas cidades. São Leopoldo encontra-se a apenas 30km de Porto Alegre. Ainda que Porto Alegre esteja classificada em outra zona bioclimática, entende-se que os dados dessa cidade em função da proximidade e das características de altitude são os que mais se assemelham.

É usual que os dados climáticos que representam as condições externas (temperatura, umidade etc.) sejam arquivos representativos das 8.760 horas do ano, porém a análise do conforto deste trabalho se deu para o período de um ano excluindo os meses de janeiro, fevereiro e julho e a segunda quinzena do mês de dezembro, pois estes são períodos de recesso acadêmico. A utilização do espaço acontece intensamente em três turnos: manhã, tarde e noite. Sendo manhã das 8h30min às 11h15min; tarde das 14h às 16h45min; e noite das 19h30min às 22h15min. Os demais horários foram excluídos do estudo por se tratarem de momentos de ociosidade da edificação.

3.2 Características da edificação estudada

O campus Unisinos São Leopoldo possui uma área de 90,55 hectares, com mais de 400 salas de aula. É uma área bastante arborizada, como pode ser observado na figura 9, com lagos, jardins e áreas de preservação ecológica.

Figura 9: Vista do bloco B10



Fonte: autora

São 26 blocos de sala de aula, similares aos que aparecem na figura 10, que possuem a mesma tipologia, com implantação e características construtivas idênticas: alvenaria com esquadrias metálicas, laje de concreto e cobertura em telhas de fibrocimento.

Figura 10: Vista geral dos blocos de sala de aula



Fonte: Flickr Unisinos⁶

Para a construção dos modelos foi utilizado o bloco de salas de aula B10 - ala oeste. Optou-se por restringir o estudo às salas de aula, pois essa tipologia representa hoje 40% da área construída do campus universitário. Afora ter um grande impacto pelo percentual que representa, é também a área que impacta o maior número de usuários. A universidade possui hoje cerca de 30 mil alunos e 2100 professores e funcionários. A figura 11 indica o posicionamento da edificação no campus e os blocos de sala de aula que possuem a mesma tipologia do estudo.

⁶ BLUM, Rodrigo W. **Nova Perspectiva**. Unisinos em imagens. 11 junho 2014.1 fotografia, color. Disponível em: < <https://www.flickr.com/photos/unisinos/14414411705/in/album-72157633174890802>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

Figura 11: Mapa do campus Unisinos São Leopoldo



Fonte: elaborado pela autora

Pode se observar, na figura 11, a implantação regular e repetitiva do campus universitário de São Leopoldo. Os blocos têm sua implantação no sentido norte-sul.

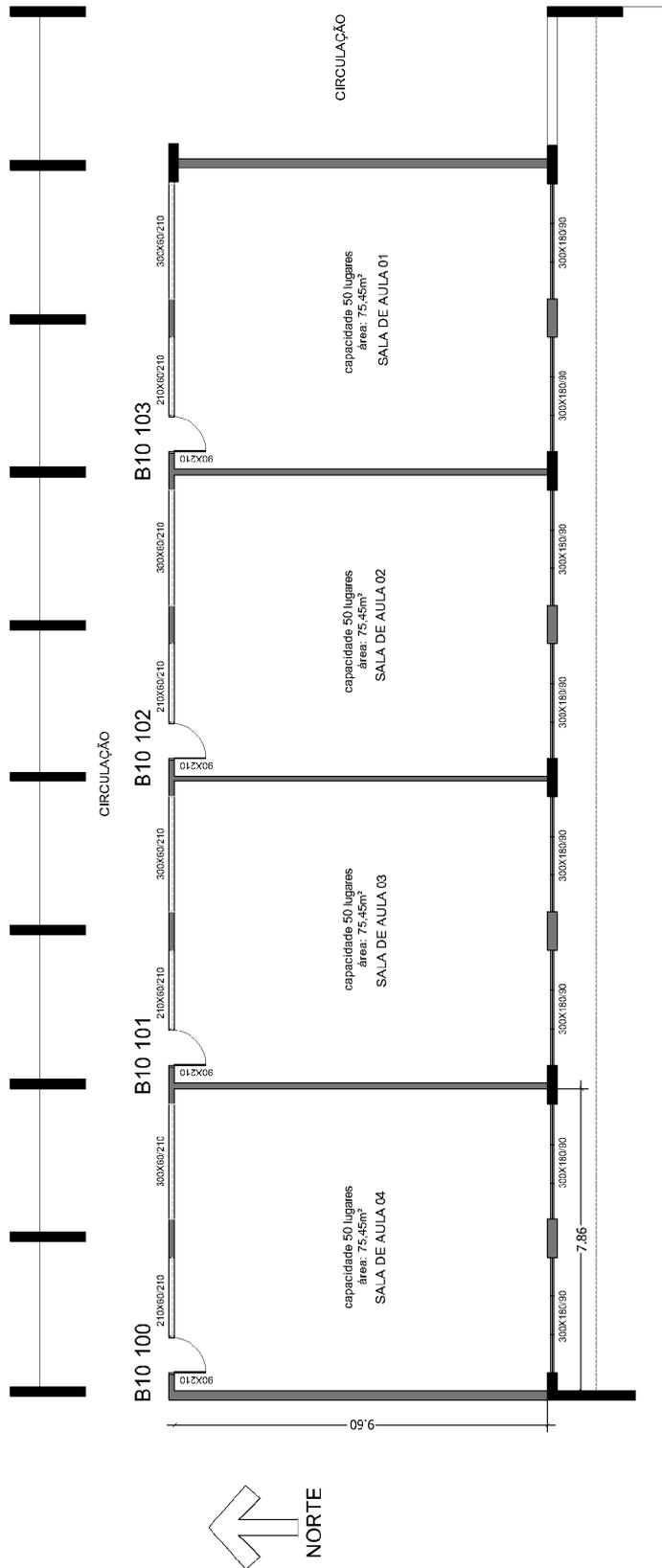
Figura 12: Imagens das salas em estudo



Fonte: elaborado pela autora

A edificação típica que está sendo estudada (figura 12) tem acabamento em tijolo à vista e alvenaria rebocada, piso em parquet, teto em laje rebocada. O pé direito tem 3m de altura. Possui janelas de caixilharia metálica com vidros 4mm. As esquadrias, voltadas ao sul, têm 180cm de altura de com peitoril de 90cm, ao norte, janelas altas, com 60cm e peitoril de 210cm. A divisão entre as salas (Leste-Oeste) é de alvenaria rebocada. A cobertura é de telha de fibrocimento tipo calhetão instalada sobre a laje de cobertura. As salas não possuem forro.

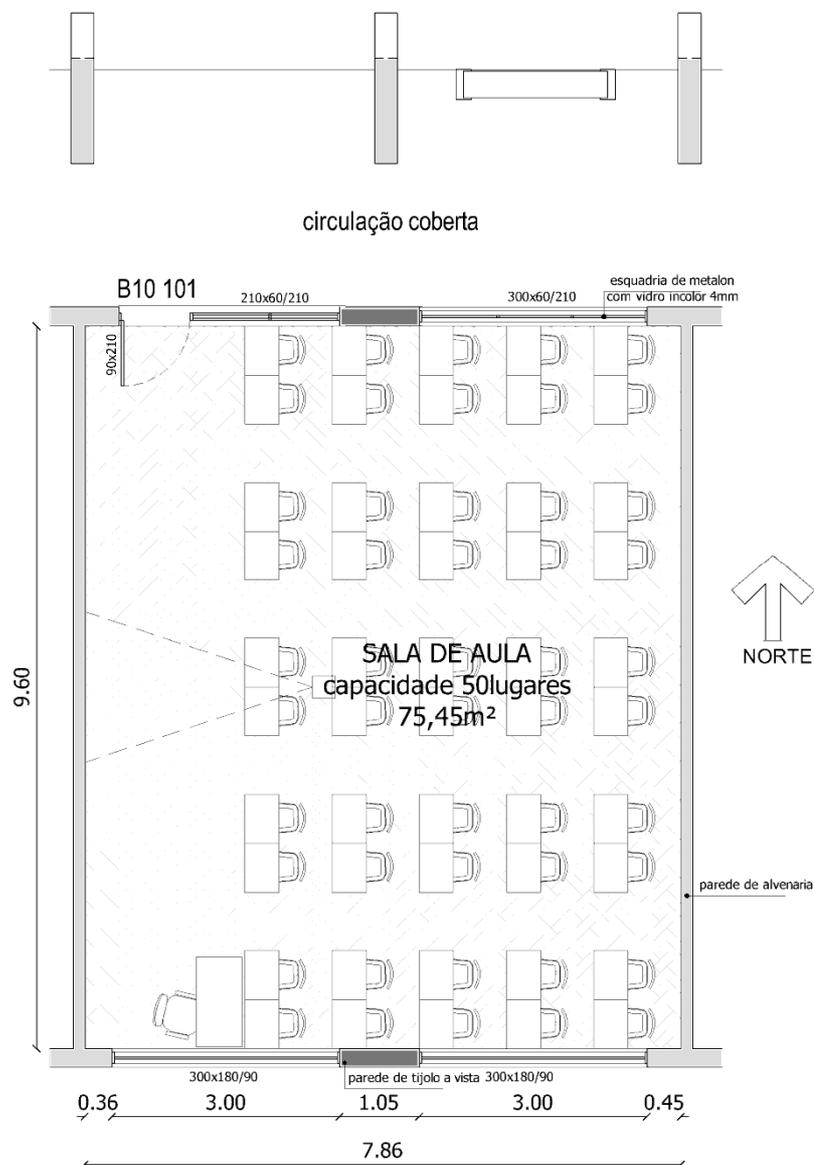
Figura 13: Planta baixa do bloco B10



Fonte: elaborado pela autora

As salas de aula estudadas são as salas 100, 101, 102 e 103 do bloco B10. Visando facilitar a leitura do texto, as salas foram numeradas de 1, 2, 3 e 4 sendo a sala 1 aquela que possui face externa com orientação leste e a sala 4, a que possui face voltada ao oeste. Conforme indicado na figura 13.

Figura 14: Planta baixa mobiliada da sala de aula



Fonte: elaborado pela autora

3.3 Características de utilização do ambiente

Cada sala de aula tem 75,45m² e é ocupada por 50 alunos e 1 professor. A sala está equipada com 1 projetor de imagens e 1 computador *desktop* destinado ao uso do professor. Observa-se que a cada dia aumenta o número de alunos que faz uso de equipamentos eletrônicos, de forma que, para fins deste estudo, será considerado um valor de 1500 W para representar esses equipamentos. A iluminação da sala de aula se dá por 18 luminárias 2x32W.

Tabela 1: Características de utilização do ambiente: parâmetros adotados

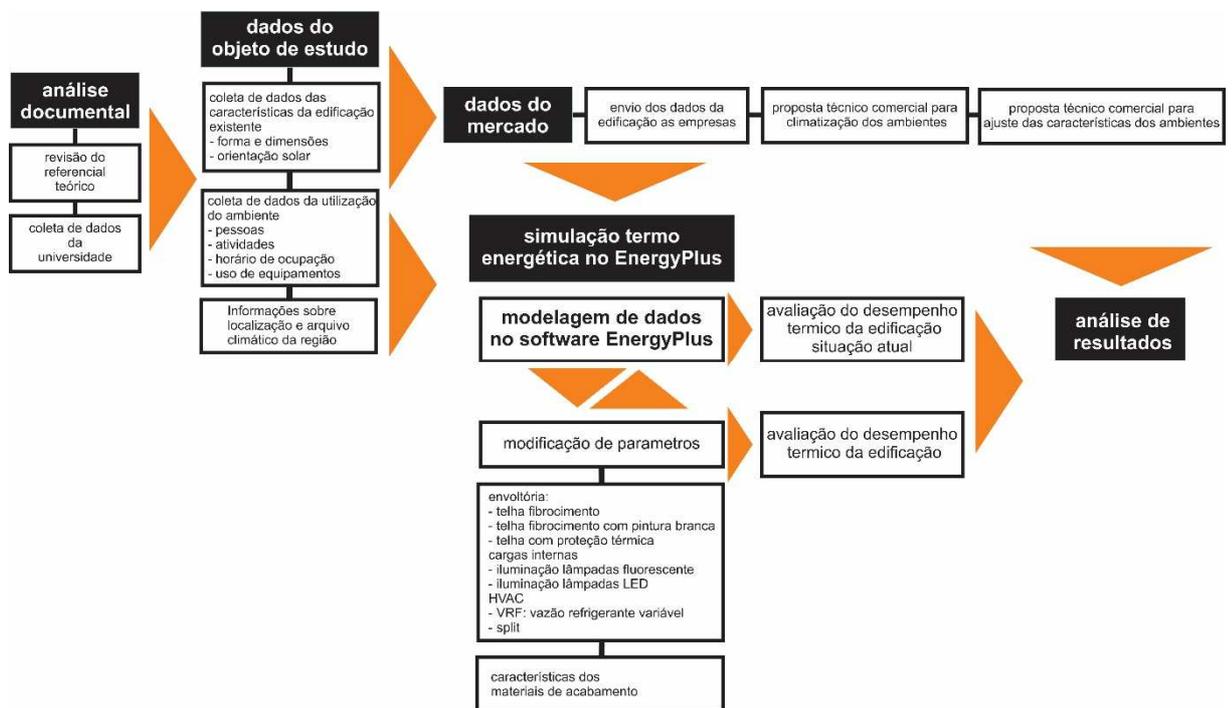
Parâmetro		Quantidade	Potência (W)	Total (W)
Pessoas	Pessoas em atividade de estudo	51	90	4590
Iluminação	Lâmpadas	36	32	1152
	Reator	18	1	18
Equipamentos	Computador	1	135	135
	Projetor de imagens	1	300	300
	Eletrônicos (notebooks, tablets,ect..)	-	-	1500

Fonte: elaborado pela autora

3 METODOLOGIA

Para atender aos objetivos definidos no capítulo 1.1, a pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas: análise documental, coleta de dados do objeto de estudo, coleta de dados de mercado, simulação termo energética e análise de resultados. A Figura 15, abaixo, apresenta um resumo dessas etapas.

Figura 15: Etapas da pesquisa



Fonte: elaborado pela autora

3.1 Análise documental

A base metodológica da pesquisa foi a análise documental, buscando informações existentes sobre o assunto em livros, artigos técnicos e científicos, normas nacionais e internacionais, dissertações e teses. (MORETTINI, 2007)

Foi realizada uma revisão de referencial teórico, na qual foram definidos conceitos referentes à sustentabilidade, conforto, arquitetura bioclimática, condicionamento térmico, eficiência energética, simulação termoenergética e apresentados estudos anteriores, fundamentais ao entendimento deste estudo.

Paralelo a isso, foi realizada análise de documentos e relatórios institucionais da empresa pesquisada, apoiando a justificativa do estudo proposto. Martinelli aponta que um “estudo de caso é usado quando se deseja analisar situações concretas, nas suas particularidades”. A restrição a um único objeto delimitado, possibilita uma análise aprofundada de um caso concreto permitindo um maior detalhamento. (MARTINELLI, 1999 p.46)

3.2 Coleta de dados da edificação

Em paralelo à análise documental, foi realizada coleta de informações e dados técnicos sobre a edificação em estudo, visando obtenção de informações que possibilitem a modelagem da edificação no software de simulação. Nesse sentido, importa entender a localização da edificação, suas características construtivas e o modo como é utilizada. Foram analisadas plantas, cortes, fachadas, imagens e realizadas verificações *in loco* para corroboração dos dados obtidos nos documentos.

3.3 Dados de mercado

Num segundo momento, foi realizada uma consulta a empresas reconhecidas no mercado. Foram encaminhadas as plantas e dados de uso da edificação em estudo. Com base nessas informações, foi solicitada uma proposta para climatizar os ambientes. O levantamento de dados de mercado teve como objetivo averiguar quais seriam as soluções propostas. Essas informações servem de base comparativa para as simulações termoenergética realizadas no software *Energy Plus*. Foram realizados orçamentos e projetos com empresas para obter comparativos das soluções e custos que o mercado disponibiliza.

3.4 Simulação termoenergética

Realizou-se a modelação dos dados coletados e definidos parâmetros para simulação computacional com o propósito inicial de avaliar as condições de temperatura das salas. Após isso, foram alterados parâmetros com o objetivo de identificar cenários para melhorar o desempenho térmico da edificação.

As simulações computacionais foram executadas utilizando uma combinação de *softwares*: a modelagem tridimensional foi realizada no Trimble SketchUp™ com o plug-in OpenStudio que permite a identificação de modelos construtivos que servem posteriormente de base para as análises do Energy Plus. O Energy Plus é um *software* desenvolvido pelo departamento de energia dos Estados Unidos, que realiza simulações térmicas e energéticas de edificações, permitindo a análise da carga térmica para o dimensionamento de sistemas de climatização e a análise do comportamento térmico da edificação no uso de diferentes materiais construtivos. (MELO, 2015)

A simulação permite analisar o consumo de uma edificação com base nas suas características construtivas e padrões de utilização. Para a correta modelagem da simulação é fundamental a inserção de dados da edificação como a localização, características construtivas e de utilização do ambiente. Os parâmetros utilizados neste estudo são os que seguem.

3.4.1 Caracterização dos parâmetros adotados

Para a modelagem dos materiais e sistemas construtivos, foram utilizados os parâmetros apresentados na biblioteca de materiais criada por Ordenes (2003), trata-se de um relatório desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)/ UFSC, que apresenta informações de materiais e componentes adequados aos padrões construtivos brasileiros, uma vez que o *software* Energy Plus traz nos seus modelos os materiais comuns ao seu país de origem (Estado Unidos).

As paredes são de tijolos cerâmico de 6 furos circulares, utilizados na sua maior dimensão nas paredes externas (15cm) e na menor dimensão nas paredes internas (10cm). Cada face das paredes rebocada com 2,5cm espessura. A pintura das paredes é de cor branca.

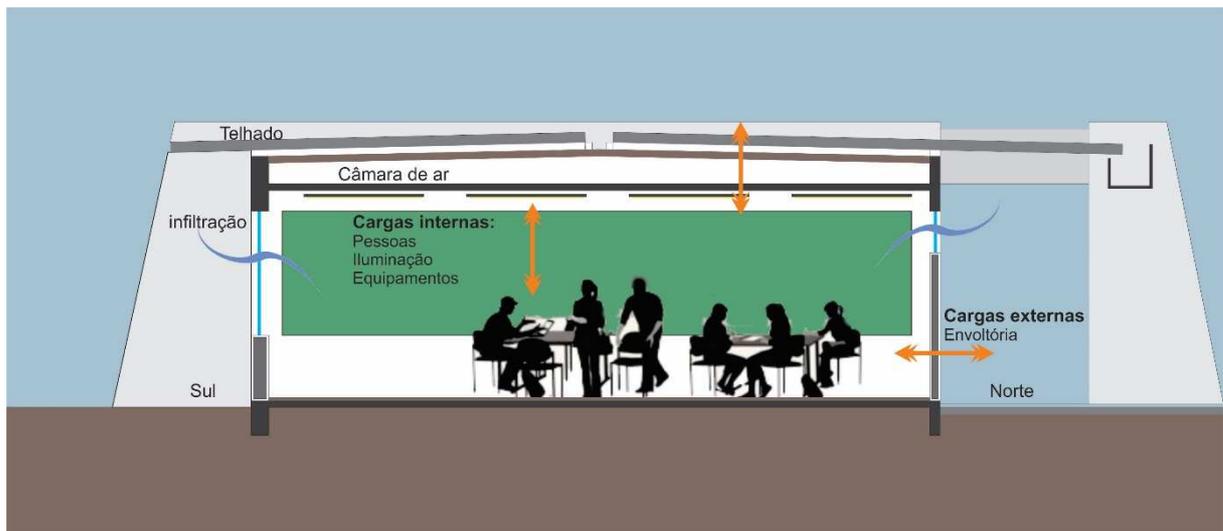
A cobertura é composta de laje de forro com 10cm de espessura sobre a qual estão instaladas telhas de fibrocimento de 10cm de espessura. A cor do telhado é escura devido a ação do tempo.

As esquadrias são metálicas com vidro simples incolor de 4mm de espessura, sem proteções solares.

Sendo uma edificação térrea, a laje de concreto de piso de 10cm está em contato com o solo. A laje possui contrapiso sobre o qual estão instalados parquets de madeira. Os valores de temperatura do solo foram calculados com base nos dados fornecidos no arquivo climático

A imagem abaixo representa um corte esquemático da edificação estudada.

Figura 16: Corte esquemático do bloco B10



Fonte: elaborado pela autora

A tabela 2 apresenta a descrição dos dados de entrada dos parâmetros utilizados.

Tabela 2: Propriedades dos materiais: parâmetros utilizados nas simulações

	Material	Espessura equivalente (cm)	Condutividade térmica (W/mK)	Densidade equivalente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kgK)	Resistência térmica (m ² K/W)
PAREDES	Argamassa de emboço (2,5cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
	Camara de ar (2-5cm)	-	-	-	-	0,160
	Tijolo Maciço aparente (10cm)	9,0	0,90	1800	0,92	0,100
	Tijolo 6 furos circulares (10cm)	3,0	0,90	1232	0,92	0,033
	Tijolo 6 furos circulares (15cm)	6,6	0,90	840	0,92	0,073
PISO	Solo (45,7cm)	45,7	0,87	1361	0,8373	0,528
	Laje de concreto (10cm)	10,0	1,75	2200	1,00	0,114
	Argamassa de reboco (2,5cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
	Piso de madeira	1,0	0,14	600	2,30	0,071
COBERTURA	Telha de fibrocimento	0,7	0,95	1900	0,84	0,007
	Câmara de ar alta emissividade	-	-	-	-	0,210
	Câmara de ar baixa emissividade	-	-	-	-	0,610
	Laje de concreto (10cm)	10,0	1,75	2200	1,00	0,114
	Lamina de alumínio polido	0,1	230	2700	0,88	0,000
	Lã de vidro	5,0	0,05	50	0,70	1.111

Fonte: Adaptado de Ordenes, 2003

3.4.2 Temperatura e renovação de ar

Para determinar a habitabilidade dos ambientes, utilizou-se os parâmetros de temperatura estabelecidos pela norma NBR 16401 que determina que a faixa recomendável de operação de temperatura de bulbo seco no verão deve ser de 23 °C a 26 °C e no inverno de 20 °C a 22 °C.

A taxa de renovação de ar indicada para ambientes de ensino climatizados deve ser de no mínimo 27 m³/hora/pessoa, conforme estabelecido pela ANVISA.

3.5 Parâmetros de análise de resultados

Segundo Schramm (1971, apud YIN, 2015) um estudo de caso, tenta esclarecer um conjunto de decisões: por que elas são tomadas, como são implementadas e com que resultado. Nesse sentido, a simulação permite a criação de diversos cenários para apoiar a tomada de decisão.

Com base nos dados obtidos do referencial teórico, percebe-se que as principais variáveis climáticas que impactam no conforto térmico são: radiação solar incidente e temperatura externa. (FARIA, 2013). Considerando esses fatores, algumas alternativas parecem ter maior relevância para as análises. Estes são os impactos da redução de ganho de calor proveniente da cobertura, seja por substituição das telhas por telhas com maior inércia térmica ou por pintura do telhado aumentando a

refletância, opções de alteração do sistema de iluminação, reduzindo a carga térmica instalada.

Em relação aos sistemas de ar condicionado, foram comparados no estudo os custos de implantação e manutenção dos sistemas Split e VRF, utilizando *templates* de equipamentos existentes no software Energy Plus

A tabela 3, abaixo, resume os parâmetros avaliados nas simulações.

Tabela 3: Parâmetros analisados

ENVOLTÓRIA	Telha fibrocimento Telha fibrocimento pintura branca Telha com proteção térmica
CARGAS INTERNAS	Iluminação lâmpadas fluorescente Iluminação lâmpadas LED
HVAC	VRF : Vazão de Refrigerante Variável SPLIT

Fonte: elaborado pela autora

3.6 Análise de resultados

Como resultados, são apresentadas análises das diversas simulações realizadas, comparando as temperaturas das salas de aula em relação aos parâmetros de conforto. Os dados são apresentados em forma de gráficos e tabelas do consumo anual de energia elétrica, número de graus-hora demonstrando que as salas de aula estão fora do padrão de conforto e os resultados de consumo dos sistemas de ar condicionado. A análise dos resultados foi realizada primeiramente visando entendimento da situação atual dos ambientes, seguido então de uma análise de soluções passivas e posteriormente da aplicação de sistemas de climatização.

Por fim, realizada a comparação dos cenários, foi indicada a melhor combinação de parâmetros sob o ponto de vista técnico-econômico.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo trata da apresentação e discussão dos resultados gerados nas simulações realizadas no Energy Plus. Expõe uma análise da situação atual e compara cenários de soluções passivas e as soluções apresentadas pelas empresas consultadas. Tem como objetivo avaliar os diferentes cenários propostos por meio de análise de temperatura dos ambientes, custos de implantação e de operação das soluções apresentadas. A análise dos resultados é apresentada em três etapas. Num primeiro momento, propõe-se o entendimento da situação atual dos ambientes, seguido então de uma análise de soluções passivas e por fim dos sistemas de climatização e propostas comerciais.

4.1 Situação atual

Com o intuito de determinar a realidade atual, na primeira simulação realizada, foram considerados os parâmetros atuais da edificação e os aspectos ocupacionais. Os parâmetros atuais compreendem as paredes em alvenaria, esquadrias de caixilharia metálica com vidros 4 mm, cobertura em telha de fibrocimento escurecida pelo tempo. Em relação aos aspectos ocupacionais, levou-se em conta a ocupação por 51 pessoas, com uso de equipamentos de informática, iluminação por lâmpadas fluorescentes 2x32w e uso nos turnos manhã, tarde e noite, excluindo os meses de janeiro, fevereiro e julho e a segunda quinzena do mês de dezembro, pois este são períodos de recesso acadêmico.

Tabela 4: Parâmetros adotados na simulação da situação atual

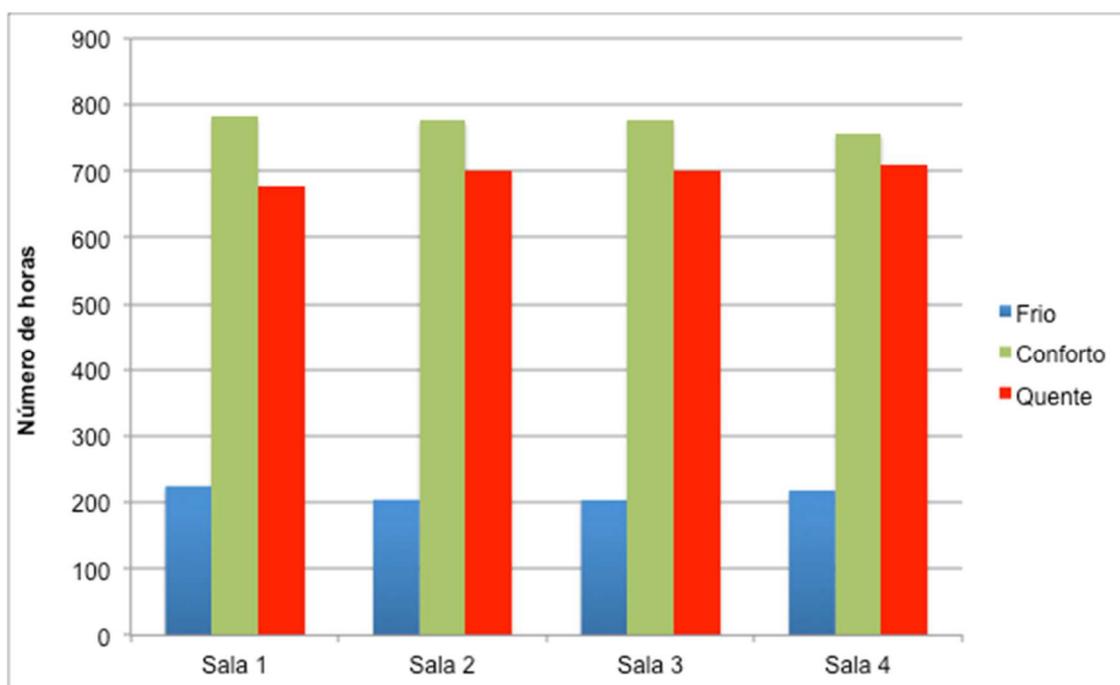
	Situação atual
Cargas internas	
Iluminação	18 luminárias com lâmpadas fluorescente 2x32W
peças	51 pessoas em atividade de estudo
equipamentos	Computador, projetor e equipamentos:1935W
Cargas externas (envoltória)	
Paredes	alvenaria
Esquadrias	metalica com vidro 4mm
Cobertura	telha fibro cimento escurecida
Aspectos operacionais	uso conforme calendário acadêmico
Equipamentos (HVAC)	não possui

Fonte: elaborado pela autora

O retrato da situação atual confirma a necessidade de intervenção apontada pelos alunos nas pesquisas da universidade. Revela uma situação bastante crítica, ainda que, como nas demais simulações, os meses de janeiro, fevereiro, julho e a segunda metade do mês de dezembro tenham sido excluídos das análises como já mencionado. As temperaturas internas das salas chegam a atingir uma máxima de 39,65 °C e mínima de 9,75 °C. Esses valores alcançam níveis que são considerados de stress térmico, ou seja, a capacidade de produção intelectual nesses espaços fica comprometida.

As salas são ocupadas durante 1683 horas por ano. A sala que apresenta as melhores condições de conforto é a sala 1, com orientação leste, que está apenas 782 horas com temperaturas de acordo com o *setpoint*, ou seja, mais de 55% do período de ocupação está fora das temperaturas adequadas. No gráfico 1, abaixo, pode ser observada a condição de conforto de cada uma das salas em relação ao período de ocupação.

Gráfico 1: Situação atual

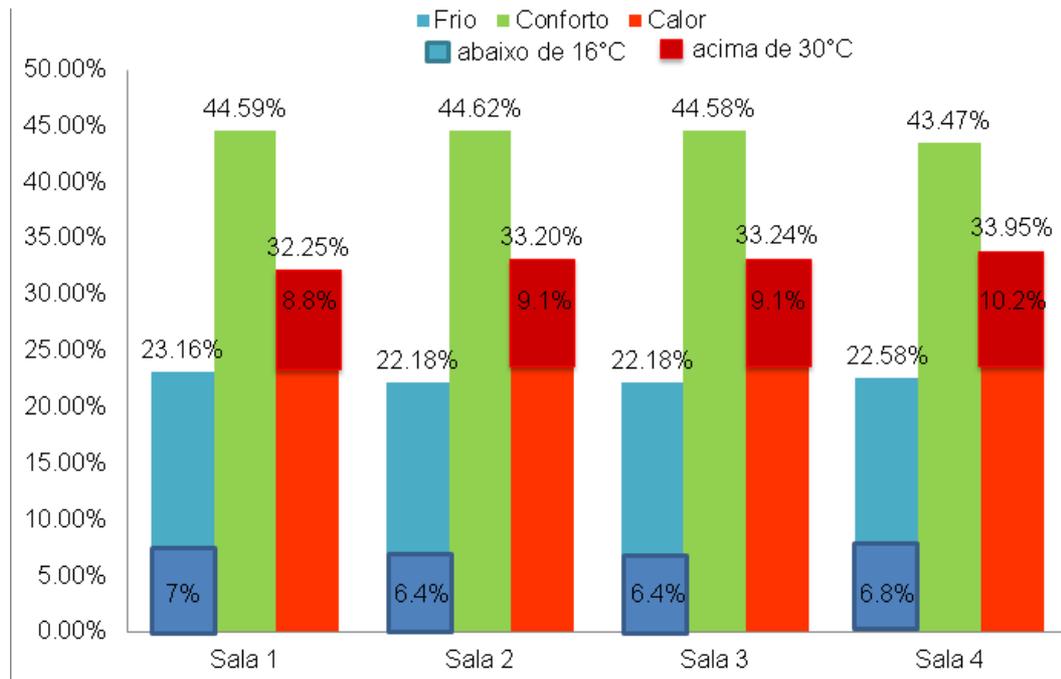


Fonte: elaborado pela autora

A observação do gráfico, torna clara a criticidade do conforto nesses espaços. A sala 4, que possui a face oeste é, como previsto, a sala com maior índice de calor. Durante o período de verão, a sala apresenta temperaturas superiores a 30 °C, 30%

do tempo de calor. Ou seja, os alunos estudam em temperaturas que são consideradas de stress térmico grande parte do tempo. A sala com orientação leste, por outro lado, apresenta temperaturas inferiores a 16 °C, 30% do período de inverno.

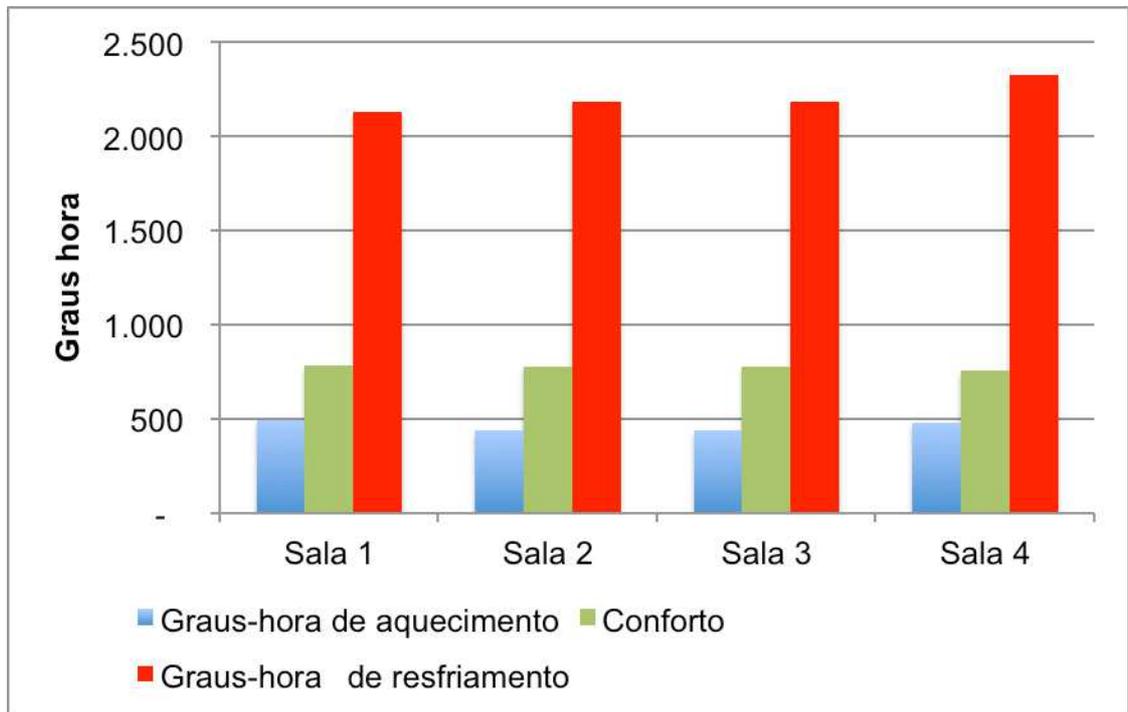
Gráfico 2: Situação atual com períodos de stress térmico



Fonte: elaborado pela autora

Quando analisado o número de graus-horas em que o *setpoint* da temperatura ficou acima ou abaixo do range de conforto, gráfico 3, tem-se uma visão mais real da criticidade da situação. A sala oeste tem mais de 2.300 graus-hora de desconforto no verão. Fica claro também que embora o percentual de horas de frio seja 23,26% do tempo de ocupação, quando relaciona-se os graus-hora, o desconforto nas situações de frio é muito menor que nos dias de calor. O número de graus-hora em condições de frio é na pior situação menor que 500 horas.

Gráfico 3: Situação atual em graus-hora

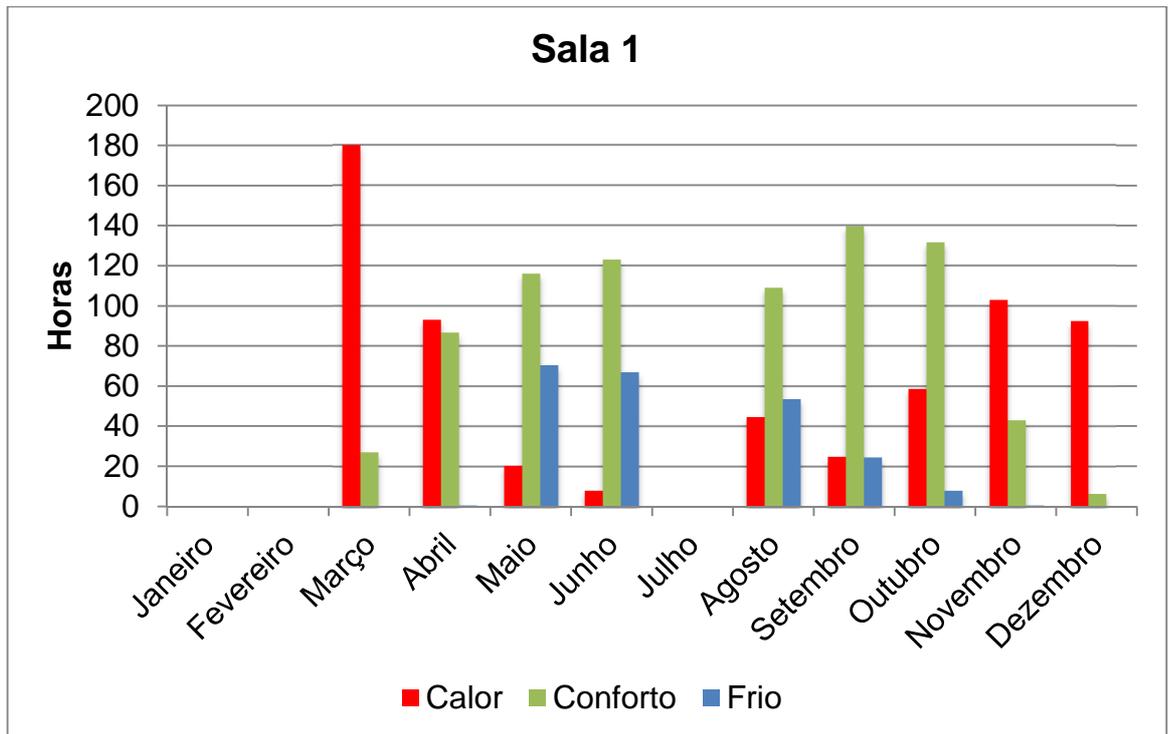


Fonte: elaborado pela autora

Quando observada a situação atual mês a mês, percebe-se o mês de dezembro, embora conte apenas com 15 dias de utilização das salas, tem os maiores picos de calor. Em todos os meses, inclusive aqueles de inverno, as temperaturas estão acima do *setpoint*. Comparando o gráfico 4, da sala 1 com orientação solar leste, com o gráfico 5, que representa a sala 4 com orientação oeste, a questão da necessidade de resfriamento dos espaços é, mais uma vez, reforçada.

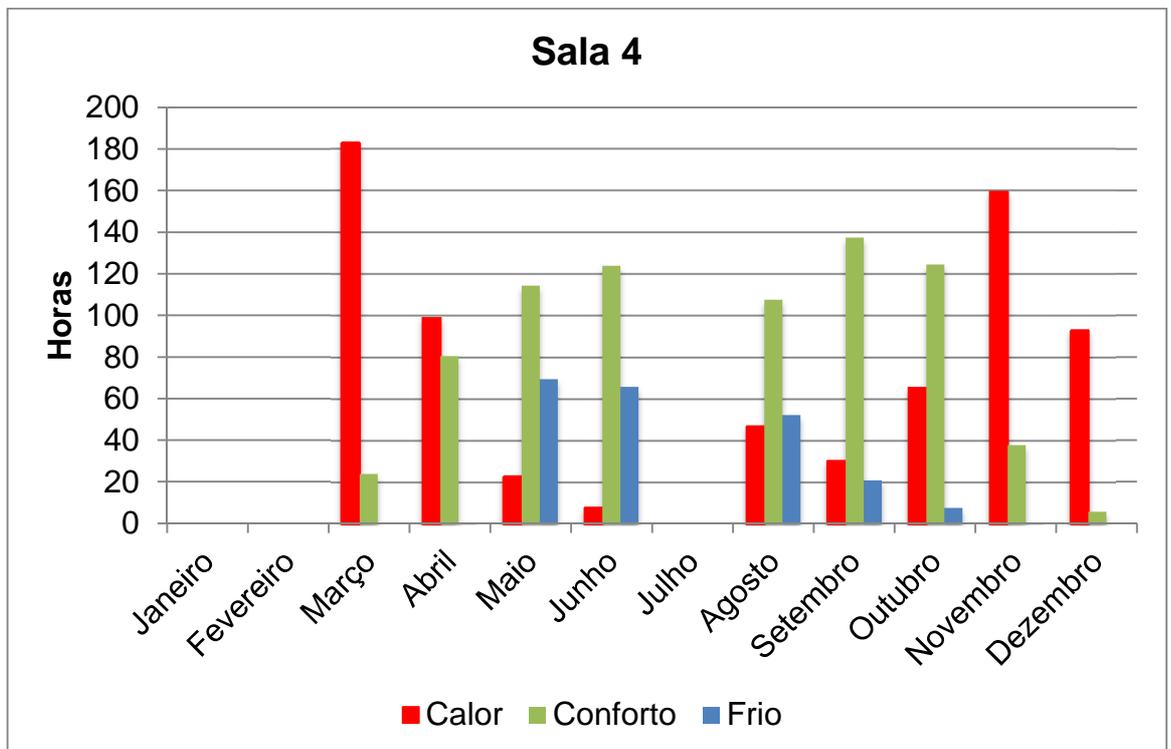
Embora maio, junho, agosto, setembro e outubro apresentem horas de frio (Gráficos 4 e 5), quando visto sob a perspectiva de graus-hora (Gráficos 6 e 7), fica evidente que somente em maio, junho e agosto existe necessidade de intervenção.

Gráfico 4: Análise mensal da situação atual sala 1



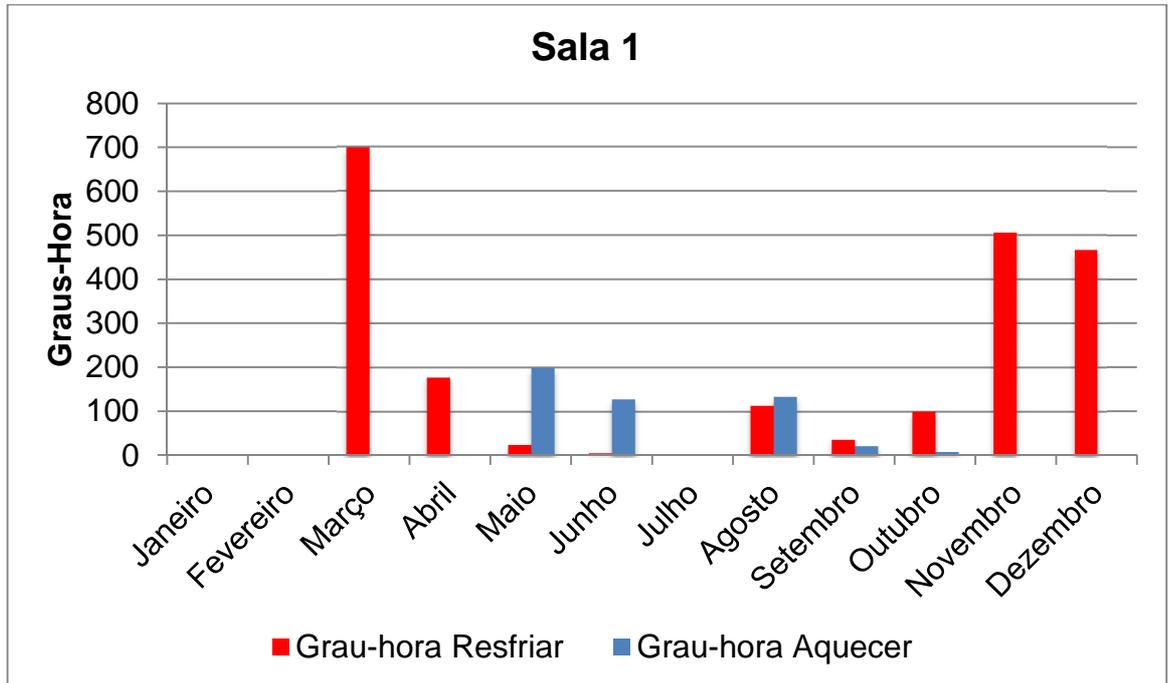
Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 5: Análise mensal da situação atual da sala 4



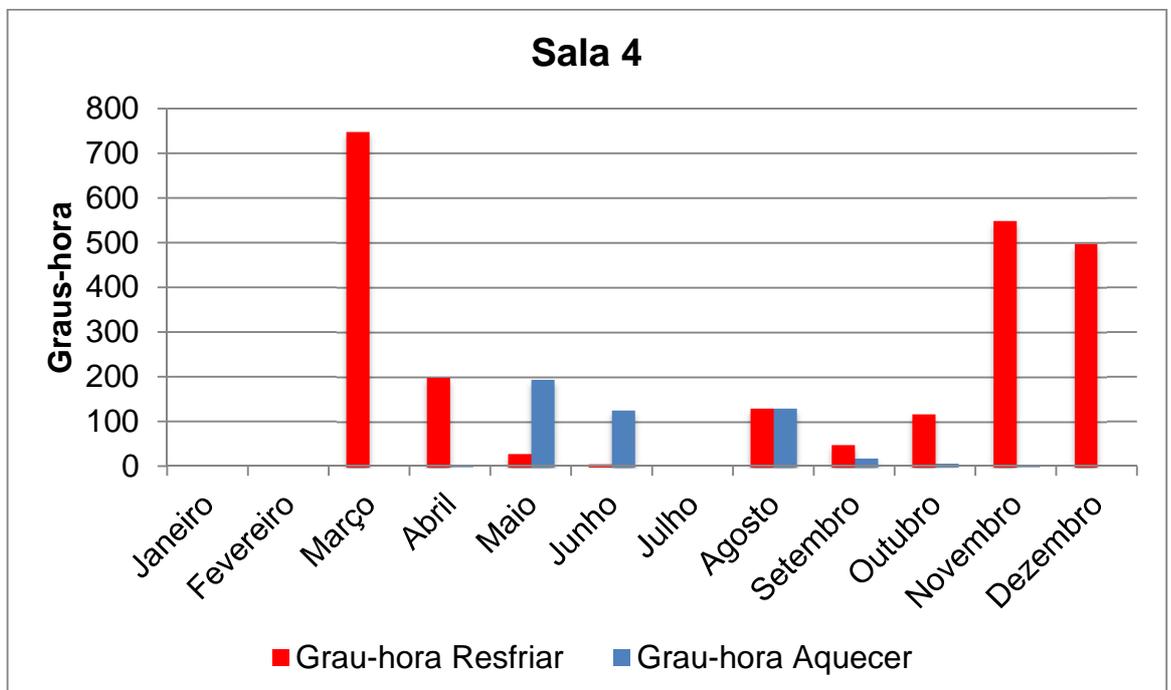
Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 6: Análise mensal da situação atual em graus-hora na sala 1



Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 7: Análise mensal da situação atual em graus-hora na sala 4



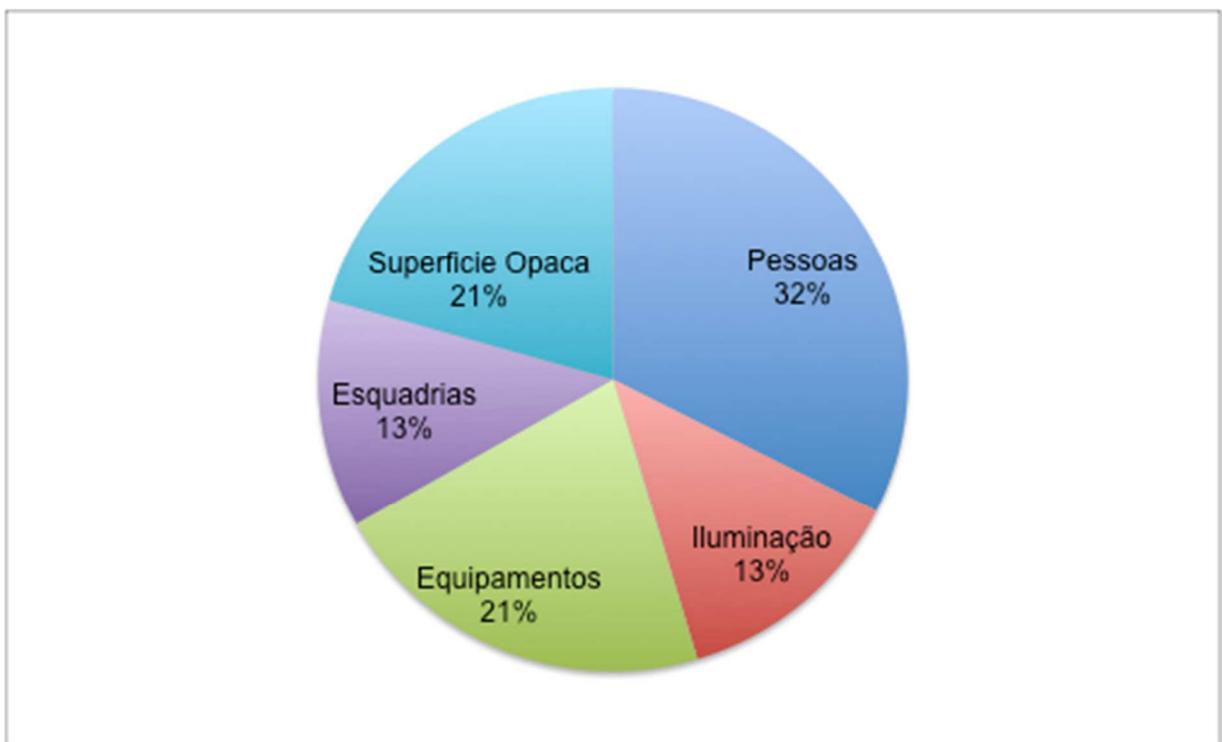
Fonte: elaborado pela autora

Perante o cenário atual, exposto acima, percebe-se que é necessária uma intervenção para assegurar a habitabilidade nesses ambientes.

4.2 Soluções Passivas

Diante da criticidade da situação atual das salas de aula, buscou-se então analisar parâmetros que influem na carga térmica dos ambientes. Pela teoria estudada, estes parâmetros podem ser divididos em dois grupos de variáveis: cargas internas e cargas externas. Essas duas categorias podem ser subdivididas. As cargas internas são compostas de pessoas, equipamentos e iluminação. Já as cargas externas, da envoltória, que pode ser composta de esquadrias e superfícies opacas que são afetadas diretamente pela radiação solar e infiltração. Observando os aspectos passíveis de alterações, buscou-se simular os impactos destas alterações.

Figura 17: Fatores de influência de carga térmica ao longo do ano



Fonte: elaborado pela autora

Na figura 17, pode se observar que o aspecto que exerce maior influência na carga térmica ao longo de um ano, diz respeito às cargas internas. Tanto no inverno como no verão, os aspectos que se referem à ocupação, e utilização dos equipamentos, têm alto impacto na carga térmica. Pessoas, equipamentos e iluminação somam 66% da carga. Contudo, o número de pessoas que ocupam os

ambientes, em cada sala de aula, é determinado por aspectos pedagógicos, que são intrínsecos do negócio, portanto não passíveis de alteração. Da mesma forma, o uso de equipamentos, como projetor de imagem e computadores é algo a ser incentivado, não podendo então ser restringido. Restando, nas cargas internas, apenas a iluminação como fator passível de alteração.

4.2.1 Cargas internas

4.2.1.1 Iluminação

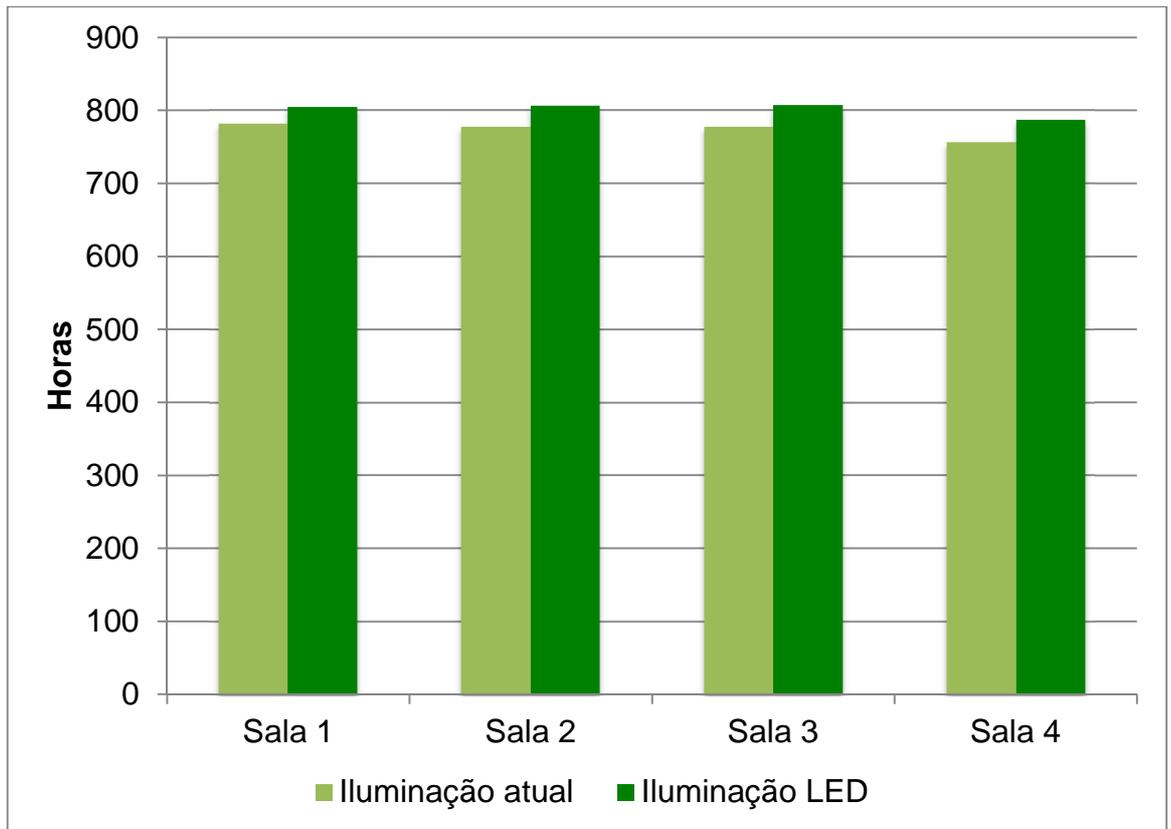
O sistema de iluminação atual pode ser substituído por iluminação em LED, trazendo benefícios de menor consumo de energia, mas também uma emissividade menor de calor. Foi realizada uma simulação, mantendo os parâmetros de envoltória e ocupação da situação atual, alterando o sistema atual de iluminação com lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED. Os parâmetros utilizados nas simulações foram os indicados na tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros adotados na simulação do cenário 1

	Situação atual	Cenário 1
Cargas internas		
Iluminação	18 luminárias com lâmpadas fluorescente 2x32W	18 luminárias com lâmpadas LED 2x18W
peessoas	51 pessoas em atividade de estudo	51 pessoas em atividade de estudo
equipamentos	Computador, projetor e equipamentos:1935W	Computador, projetor e equipamentos:1935W
Cargas externas (envoltória)		
Paredes	alvenaria	alvenaria
Esquadrias	metalica com vidro 4mm	metalica com vidro 4mm
Cobertura	telha fibro cimento escurecida	telha fibro cimento escurecida
Aspectos operacionais	uso conforme calendário acadêmico	uso conforme calendário acadêmico
Equipamentos (HVAC)	não possui	não possui

Fonte: elaborado pela autora

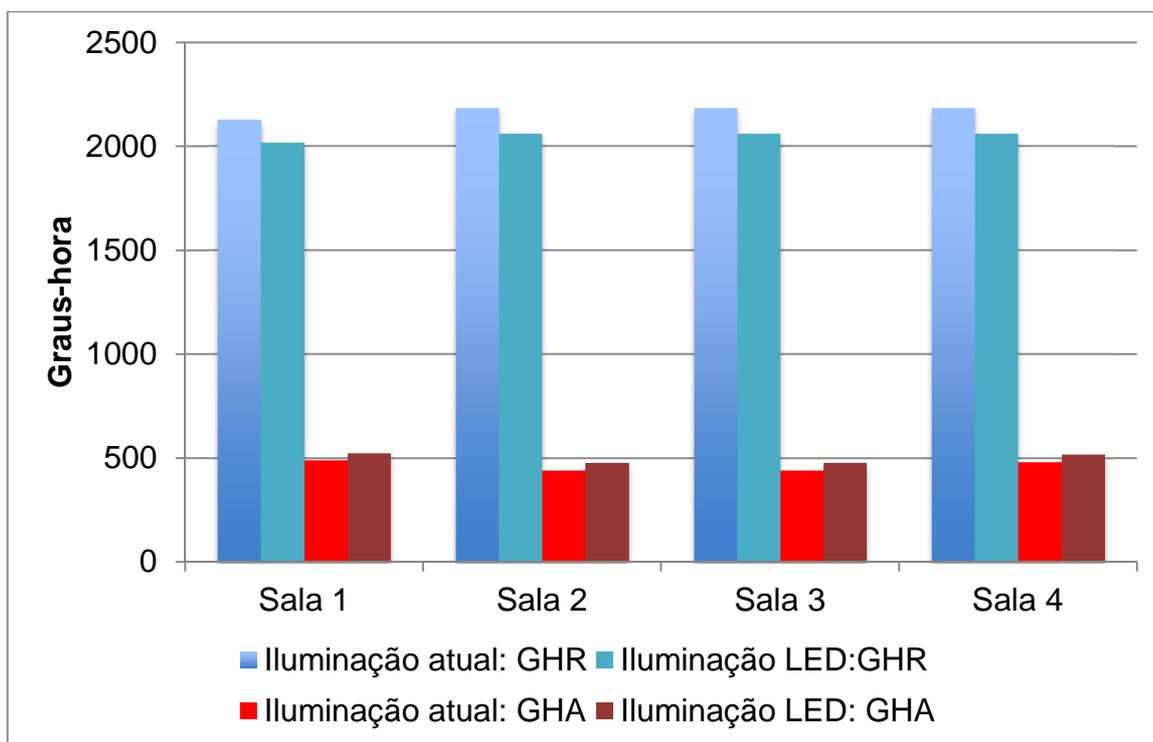
Segundo Lamberts (1997), os sistemas de iluminação e o ar condicionado são os grandes consumidores de energia nas edificações, assim, cabe ao arquiteto melhorar o desempenho energético da edificação.

Gráfico 8: Compartivo de horas no *setpoint* de temperatura

Fonte: elaborado pela autora

No que tange à carga térmica dos ambientes, o uso de LED não apresentou grande impacto na temperatura da sala de aula, embora no gráfico 8 se perceba um pequeno aumento no número de horas em que as salas estão dentro de temperaturas de conforto. O gráfico 9 reforça a informação do gráfico 8, indicando que embora exista uma diferença no número de graus hora de resfriamento, esta diferença é bastante pequena. Além disso, a iluminação auxilia no aquecimento da sala nos dias de frio, também com baixa contribuição.

Gráfico 9: Comparativo dos sistemas de iluminação



Fonte: elaborado pela autora

Ainda que a iluminação não tenha reduzido significativamente a temperatura dos ambientes, a utilização de iluminação LED tem impacto no consumo de energia da edificação, reduzindo em 45% o consumo de energia em iluminação apenas pelas características técnicas das lâmpadas.

4.2.2 Cargas Externas

As cargas externas somam 34% da carga térmica da edificação, embora este percentual seja menor do que as cargas internas, nesse item é possível realizar um maior número de alterações visto que os aspectos da edificação não têm influência direta nos aspectos pedagógicos das atividades acadêmicas.

4.2.2.1 Esquadrias

As esquadrias têm seu maior ganho de calor quando expostas diretamente ao sol. No caso em estudo, as esquadrias maiores estão voltadas ao sul, ou seja, sem

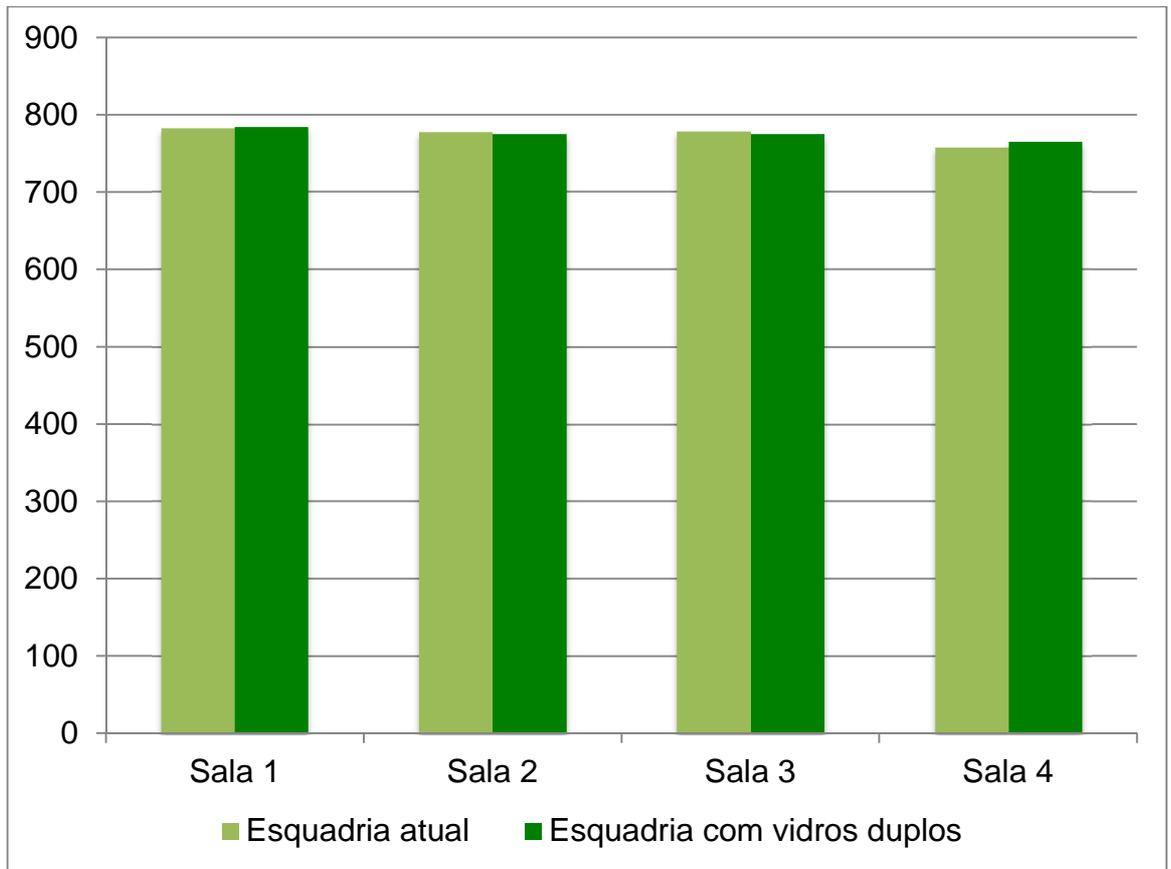
exposição ao sol e as esquadrias ao norte têm proteção da cobertura da área de circulação. Embora houvesse uma indicação da literatura afirmando que o maior ganho de calor das esquadrias é através da exposição direta ao sol, a facilidade com que o sistema de simulação permite a alteração de dados, optou-se por gerar uma simulação alterando as esquadrias por esquadrias de vidros duplos (4mm+4mm) a fim de observar se haveria alteração. Os parâmetros adotados na simulação são os indicados na tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros adotados na simulação do cenário 2

	Situação atual	Cenário 2
Cargas internas		
Iluminação	18 luminárias com lâmpadas fluorescente 2x32W	18 luminárias com lâmpadas fluorescente 2x32W
peessoas	51 pessoas em atividade de estudo	51 pessoas em atividade de estudo
equipamentos	Computador, projetor e equipamentos:1935W	Computador, projetor e equipamentos:1935W
Cargas externas (envoltória)		
Paredes	alvenaria	alvenaria
Esquadrias	metálica com vidro 4mm	metálica com vidro duplo
Cobertura	telha fibro cimento escurecida	telha fibro cimento escurecida
Aspectos operacionais	uso conforme calendário acadêmico	uso conforme calendário acadêmico
Equipamentos (HVAC)	não possui	não possui

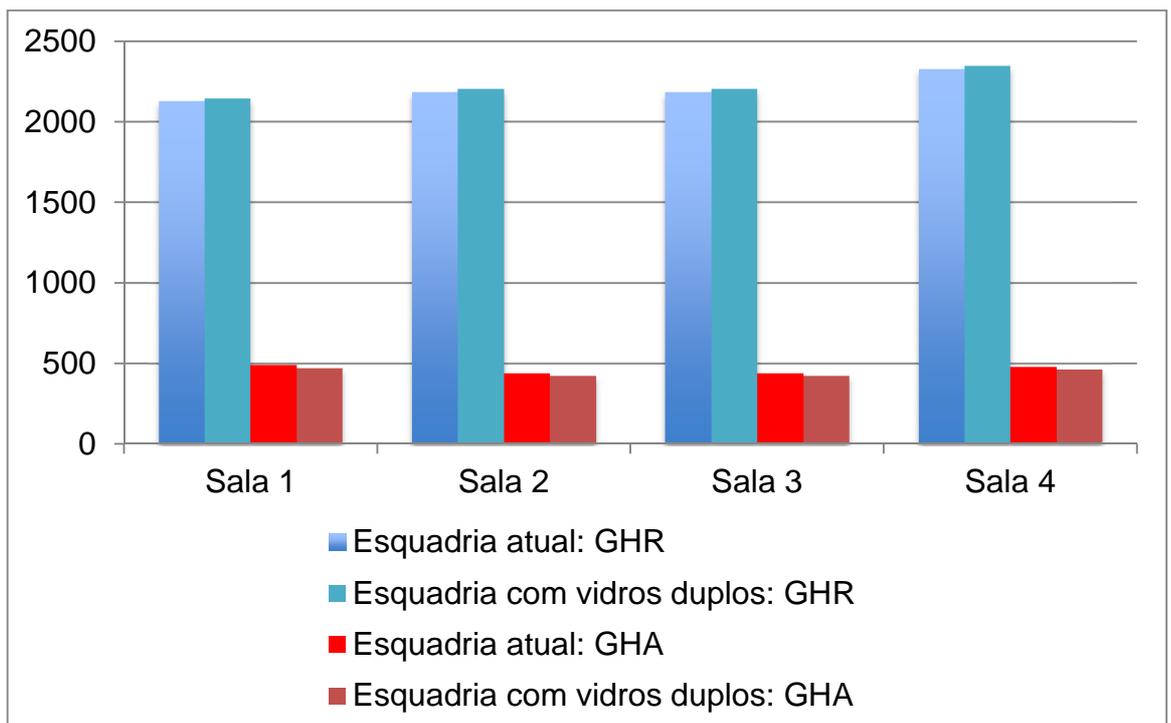
Fonte: elaborado pela autora

Os resultados corroboram com as afirmações da literatura, indicando que a substituição de esquadrias não traria benefícios. Tanto o número de horas de conforto, como os GHR e GHA não apresentaram alterações significativas, como pode ser observado nos gráficos 10 e 11.

Gráfico 10: Comparativo de horas no *setpoint* de temperatura

Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 11: Comparativo Esquadrias

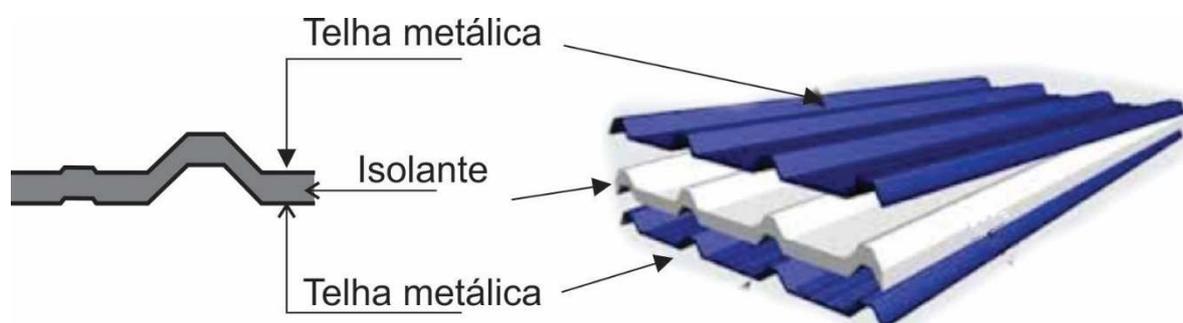


Fonte: elaborado pela autora

4.2.2.2 Cobertura

As superfícies opacas representam 21% dos fatores que influenciam na carga térmica. Quantificando as dimensões das superfícies que compõem a envoltória e a orientação solar, pode-se supor que grande parte da carga térmica da envoltória provenha do telhado devido à exposição solar direta e suas dimensões. Hertz (1998) menciona que “por causa do alto índice de radiação, o ganho de calor pelo telhado deve ser controlado, principalmente em edificações baixas”. Assim, foram realizados estudos que visam diminuir a carga térmica da edificação, minimizando o ganho térmico pelo telhado. Foram comparados três cenários: a situação atual, com telhas de fibrocimento com acabamento escurecido pela ação do tempo; as telhas de fibrocimento com uma renovação de pintura na cor branca; e a substituição do telhado por telhas de aço trapezoidal com proteção térmica e pintura em cor branca, conhecida no mercado como telha sanduíche.

Figura 18: Imagem esquemática de telha com proteção térmica



Fonte: elaborado pela autora

Embora existam outros modelos de telhados, “comprovadamente eficazes para proporcionar conforto térmico, como o telhado verde” (PACHECO-TORGAL (2015), essas soluções exigem adequações da estrutura. Deste modo, as opções de envoltória analisadas foram limitadas pelo uso de soluções compatíveis com a estrutura existente. Algumas opções foram eliminadas pela necessidade de grandes obras de adaptações que tornariam sua aplicação economicamente inviável.

Foram realizados orçamentos para a implementação das alterações na cobertura. A tabela 7 resume os valores das adequações de cobertura.

Tabela 7: custo de alteração de cobertura

ENVOLTÓRIA	Telha fibrocimento	R\$ -
	Telha fibrocimento pintura branca	R\$ 43,963.94
	Telha com proteção térmica	R\$ 103,329.68

Fonte: elaborado pela autora

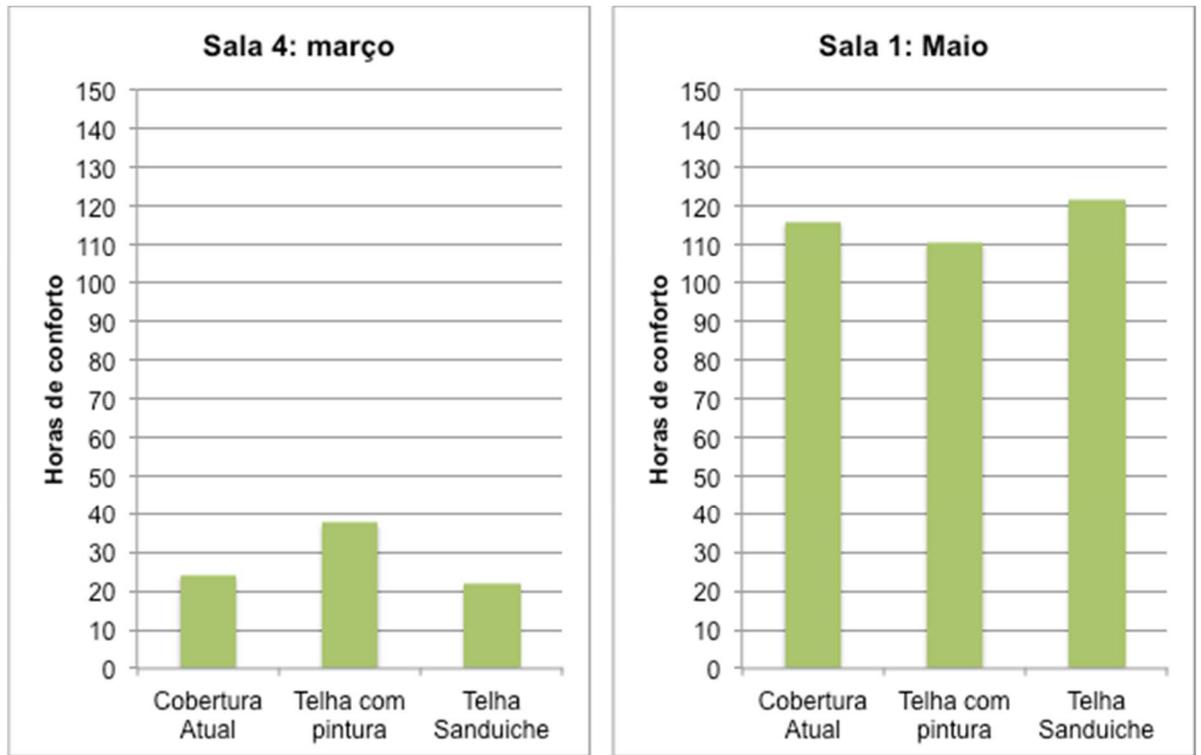
No que tange a cobertura, pode-se observar que a alteração de cor da cobertura tem um resultado significativo no conforto térmico dos ambientes. Na sala 4, com orientação oeste, que é a sala mais crítica em relação ao calor, nos dias de verão, observa-se um acréscimo de 21,85% no número de horas que a sala está em temperatura de conforto. Ao mesmo tempo, o número de horas que a temperatura passa dos 30 °C reduz 41,18%, a temperatura da sala é em média menor 1,87 °C. Essa diferença, embora pequena, em alguns momentos é o necessário para que a sala se mantenha dentro dos parâmetros de conforto.

Roaf (2009a, p.66), menciona que:

Pequenas alterações no projeto dos prédios podem ter grande impacto em sua habitabilidade, ainda que as diferenças de temperatura resultantes sejam pequenas. Isso ocorre porque estas mudanças ultrapassam o limite de desempenho térmico aceitável pelos usuários.

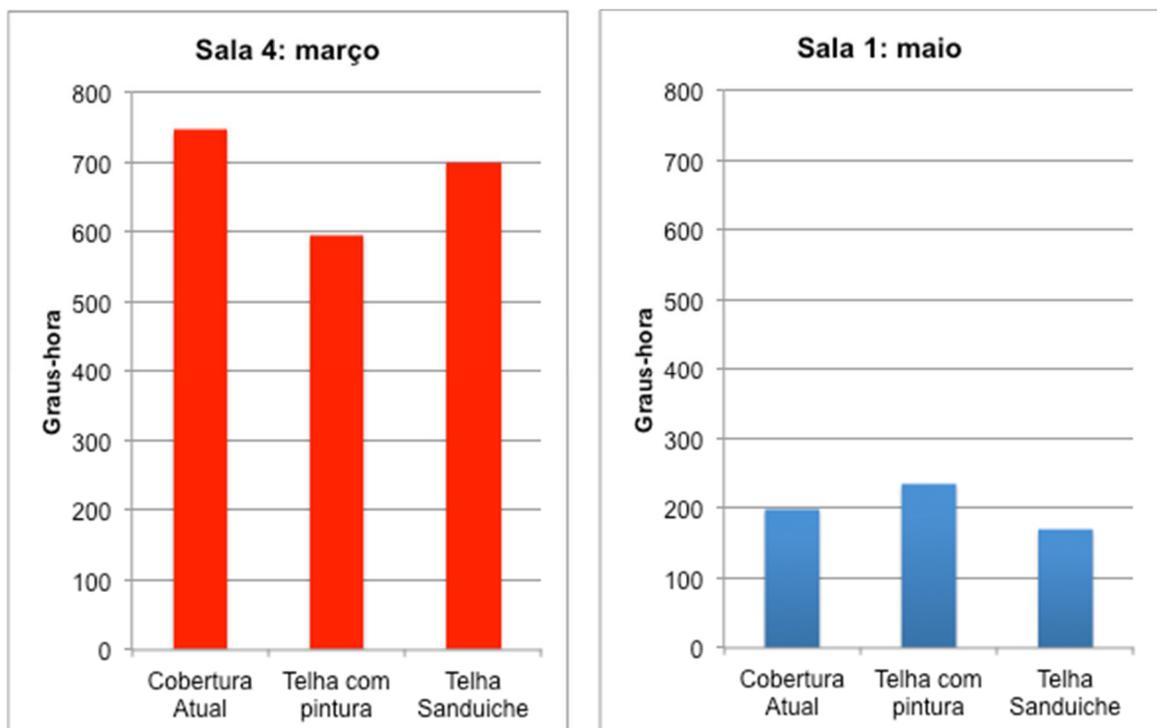
A cobertura com telhas sanduíche possui um isolamento térmico maior. Essa característica, embora isoladamente represente um benefício, quando desassociada do uso do ar condicionado não traz melhorias, pelo contrário, a inércia térmica que este material proporciona retarda o refrescamento das salas no período da noite, mantendo as salas quentes nos períodos em que estão ocupadas. Abaixo os gráficos, 12 e 13, ilustram os períodos de conforto e o número de graus-hora de desconforto nas situações mais críticas. Ou seja, considerando os meses de março e maio que representam os dois meses com o maior número de graus-hora de resfriamento e de aquecimento respectivamente e a sala 1, leste, nos períodos de frio e sala 4, oeste, nos períodos de calor.

Gráfico 12: Desempenho de telhas em horas de conforto



Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 13: Desempenho de telhas em graus-horas



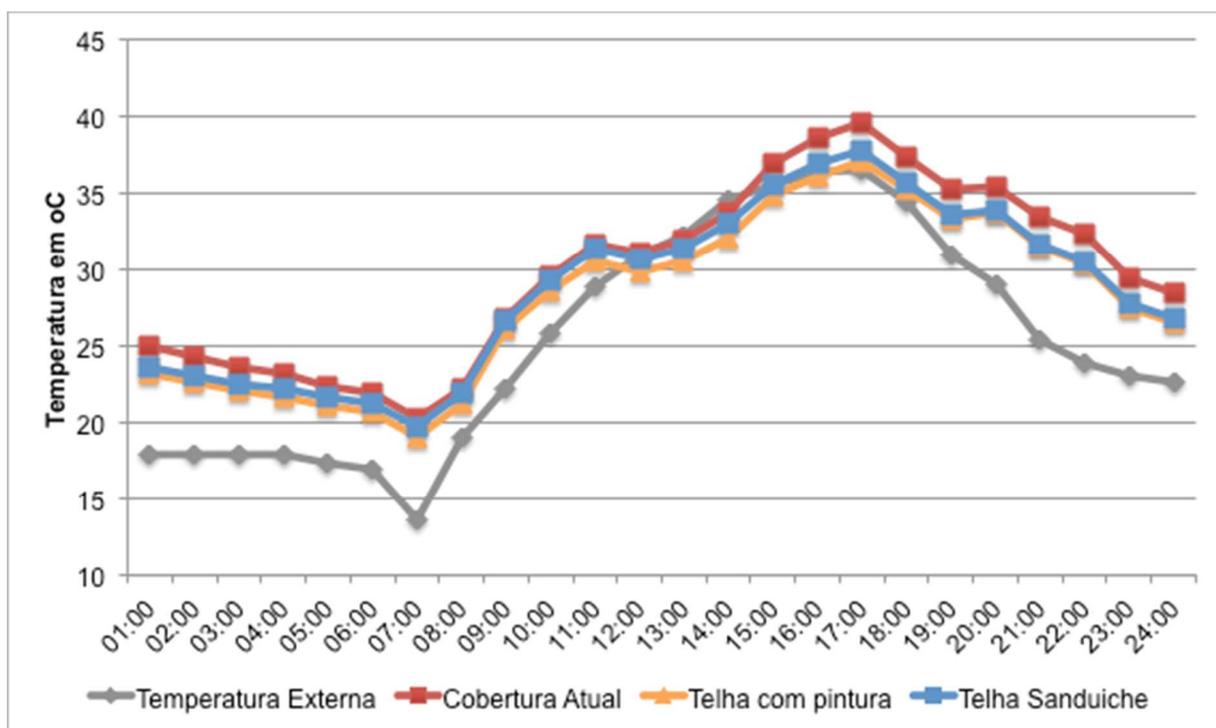
Fonte: elaborado pela autora

A telha branca impede o ganho de calor por refletância, mas mantém características de baixa inércia térmica o que traz maior velocidade na troca de calor à noite, ou seja, ganha menos calor e troca calor com mais agilidade, como pode ser observado no gráfico abaixo.

Roaf (2009, p.66) afirma que:

Em temperaturas abaixo da temperatura da pele (c.32-35°C), uma pessoa pode ser refrigerada por convecção; acima delas, isso não é possível, pois o ar ambiente passa a aquecer a pele ao invés de esfriá-la. Acima desta temperatura, o corpo humano só pode ser refrescado por evaporação do suor da pele. Por isso, climas quentes e secos são mais confortáveis do que climas quentes e úmidos, pois é fácil suar quando o ar não está saturado. Assim, a temperatura da pele representa uma faixa de temperatura crítica, ou um limite.

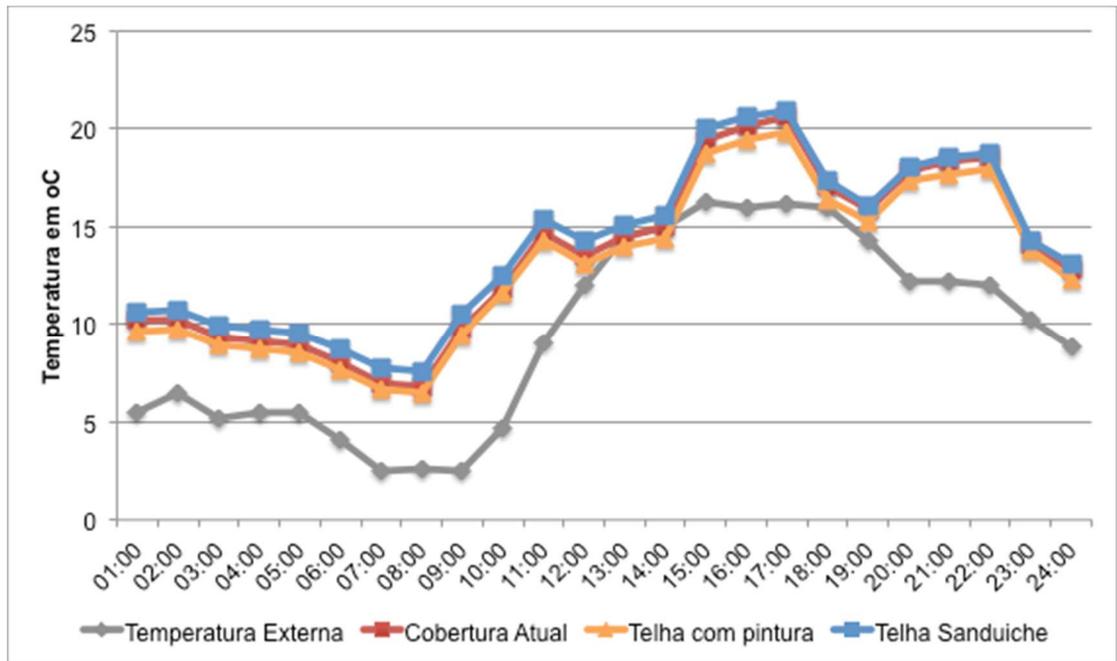
Gráfico 14 : Desempenho das telhas em dia crítico de verão



Fonte: elaborado pela autora

Essa característica embora excelente nos dias típicos de verão, traz desvantagens quando visto sob a perspectiva dos dias de inverno, no qual o melhor desempenho é obtido pela telha sanduíche que tem um maior isolamento.

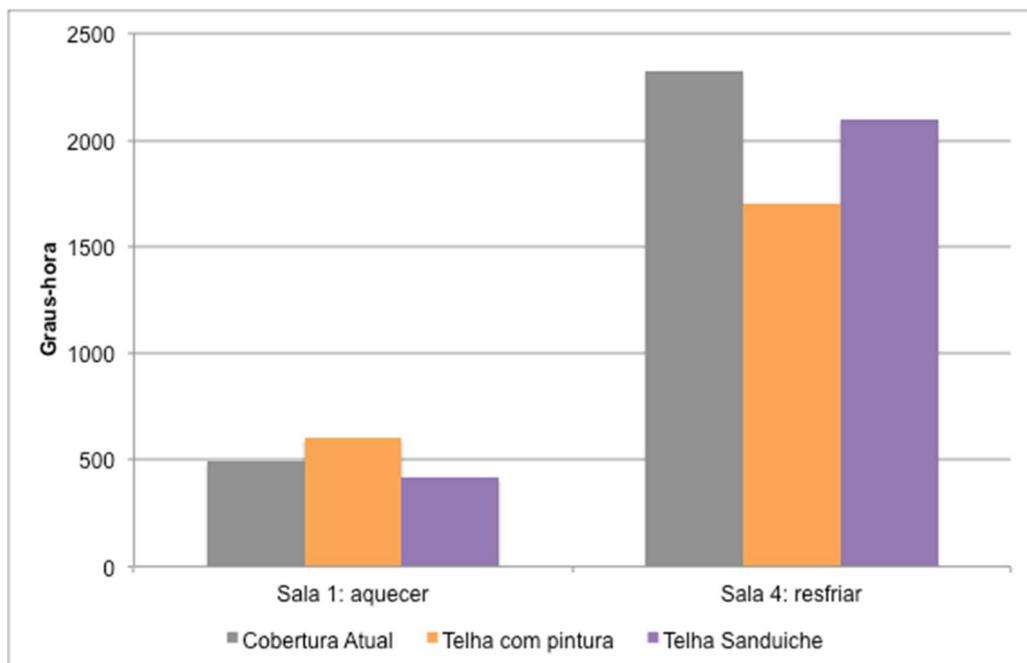
Gráfico 15: Desempenho das telhas em dia crítico de inverno



Fonte: elaborado pela autora

Diante disso, observando o período de um ano, no qual o maior índice de dia é de calor, o desempenho da solução de pintura, embora tenha desvantagem nos dias típicos de inverno, traz grandes benefícios quando observado o ano como um todo.

Gráfico 16: Comparativo de desempenho de telhas em graus-hora



Fonte: Elaborado pela autora

Ainda que a alteração da envoltória consiga reduzir o número de graus-hora em que a temperatura está em desacordo com o *setpoint* estabelecido observa-se que a utilização apenas de soluções passivas, embora apresente uma melhora significativa na qualidade de vida, não é o suficiente para garantir o conforto nestes ambientes.

4.3 Sistemas de climatização

Considerando a situação atual das salas de aula e, considerando que os estudos de sistemas passivos, embora tenham melhorado as condições de habitabilidade, não garantem o conforto nestes espaços grande parte do tempo, buscou-se então alternativas utilizando sistemas mecânicos de climatização. Para isso, foi consultada uma empresa que apresentou três possíveis soluções para a climatização do bloco de salas de aula referência. As soluções propostas foram:

- a. Sistema de ar-condicionado unitário com equipamento convencional de vazão de refrigerante fixo, comercialmente denominado como Split.
- b. Sistema de ar-condicionado unitário com equipamentos com vazão de refrigerante variável (VRF), comercialmente denominado como Split Inverter
- c. Sistemas de ar-condicionado central com equipamentos com vazão de refrigerante variável (VRF), comercialmente denominado VRF.

Considerando que a universidade tem hoje fornecimento de energia do mercado livre, não há um grande diferencial de custo em relação a horários de ponta e fora de ponta. Além disso, o campus universitário se caracteriza por uma implantação horizontal, desta forma o uso de sistemas de termo acumulação exigiriam uma infraestrutura de implantação que os tornariam economicamente inviáveis, motivo pelo qual estes sistemas não foram considerados no estudo.

Na tabela 8, abaixo consta o resumo das propostas contendo a descrição dos equipamentos e os respectivos valores de equipamentos e de implantação dos sistemas propostos. Pode se observar que o sistema VRF apresenta um custo de instalação bastante elevado em relação aos demais. Isso ocorre porque o sistema exige uma instalação mais complexa com tubulação para distribuição do fluido refrigerante.

Tabela 8: Resumo de valores das propostas comerciais

Descrição do Equipamento	quant.	Potência Total (kW)	Custo de equipamentos	Custo de instalação	Custo Total
Split piso-teto convencional	8	70,3	R\$41.600,00	R\$23.352,00	R\$64.952,00
Split piso-teto inverter	8	70,3	R\$65.920,00	R\$23.352,00	R\$89.272,00
VRF Inverter 40hp	1	111	R\$142.000,00	R\$117.809,00	R\$259.809,00

Fonte: elaborado pela autora

Na tabela 8, observa-se também uma diferença entre as potências de equipamentos. Quando questionadas, as empresas consultadas justificaram como sendo uma compensação da perda pela distância na distribuição.

O ar-condicionado é consequência dos fatores de carga da edificação, da maneira como o edifício gera e troca calor com o meio ambiente, a orientação solar, a envoltória e as cargas internas, mas está também fortemente relacionado ao regime de funcionamento. (Signor, 1999). Considerando o real uso da edificação, o calendário acadêmico, percebe-se que a exclusão dos meses de janeiro, fevereiro e julho, que são no clima em estudo meses com picos de temperatura, gera uma redução da energia total. Embora esta observação ao regime de funcionamento gere uma conservação de energia, os meses de dezembro e março, ainda apresentam elevadas temperaturas e exigem dos equipamentos capacidade de refrigeração iguais aos meses de janeiro e fevereiro.

Além do regime de funcionamento e dos aspectos da edificação, a eficiência dos equipamentos também precisa ser avaliada. “A variação de consumo geralmente é bastante elevada para sistemas diferentes, sendo que os aparelhos domésticos, que são os mais numerosos, tendem a ter baixa eficiência”. (Signor, 1999). As simulações foram realizadas utilizando como base os modelos disponibilizados na biblioteca de exemplo do EnergyPlus, neste sentido as curvas energéticas dos equipamentos com vazão de refrigerante variável seriam as mesmas para equipamentos de grande ou pequeno porte, embora saiba-se que na realidade não é assim. Com isso, as simulações dos condicionadores de ar foram divididas em duas: uma para o sistema *split* fixo e outra para o sistema *Inverter*, ambas considerando as características atuais da edificação. Como resultado, as simulações apontam uma economia no consumo anual da edificação de 26,65% entre os dois sistemas. Isso é explicado pela variação

de carga térmica, já que o sistema VRF permite que o equipamento, como seu próprio nome, indica, varia a vazão do fluido refrigerante conseguindo operar com carga parcial.

Tabela 9: Consumo anual dos sistemas de ar-condicionado

		Situação Atual	
		SPLIT	VRF
CONSUMO	KWh/ano	15709	11522
REDUÇÃO		-	26.65%

Fonte: elaborado pela autora

Realizadas as simulações dos sistemas de ar-condicionado considerando as características da edificação existente, a etapa seguinte foi testar os cenários de soluções passivas aplicados em conjunto com as soluções de climatização mecânica. Foram realizadas seis modelagens de dados mesclando os três cenários de alteração de cobertura, com as duas opções de condicionadores de ar.

Comparando os cenários, a opção que apresenta o maior consumo anual de energia é o cenário que considera instalação de *Split* fixo com a configuração atual da edificação, enquanto o cenário com maior economia de energia é o uso de sistema VRF e a alteração da cobertura através da pintura. Comparando esses dois cenários, o de maior consumo e o de menor consumo, estima-se uma redução de consumo de 37,34%. Esse resultado evidencia uma contribuição significativa da envoltória para redução do consumo. Abaixo a tabela 10, com os dados de consumo dos seis cenários testados.

Tabela 10: Comparativo do consumo dos sistemas de climatização conforme alterações na envoltória

	Situação Atual		Telha Branca		Telha Sanduiche	
	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF
CONSUMO KWh/ano	15709	11522	13503	9843	14362	10505
REDUÇÃO	-	26.65%	14.04%	37.34%	8.58%	33.13%

Fonte: Elaborado pela autora

Considerando os dados apresentados na tabela 10, em que o consumo anual foi reduzido 37,34% quando associado o sistema VRF à pintura das telhas, seguiu-se para a análise da potência adequada dos equipamentos. Inicialmente foi analisada a situação atual, conforme indicada nas propostas comerciais. A simulação da situação atual com um sistema “autosize” no EnergyPlus, indica uma necessidade de 74,7kW. Nesta análise, percebe-se que as propostas comerciais, que indicam o uso de equipamentos de 70,3 kW, estão adequadas à situação atual, embora bastante conservadoras, considerando a indicação de equipamentos para a situação mais crítica.

Tabela 11: Análise de potencia

	Situação Atual		Telha Branca	
	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF
Potência máxima (kW)	74,7	67,6	64,0	57,6
REDUÇÃO	-	9,48%	14,33%	22,86%

Fonte: Elaborado pela autora

Posteriormente, foi realizada simulação para análise de potência de equipamentos na situação de menor consumo, que aponta uma necessidade de

57,6kW, 14,4kw por sala. Diante disso, optou-se por verificar no mercado equipamentos de potência próxima a este valor.

Neste sentido, foi realizada uma simulação utilizando aparelhos de 10,6 kW (36.000 Btu/h). Como resultado, a temperatura nas salas de aula fica de acordo com o “*setpoint*” em 95% do tempo. Nos períodos em que o *setpoint* não é atingido, tem-se apenas 21,2 GHR e 19,7 GHA. Esse pequeno desvio está dentro dos parâmetros estabelecidos nas normas, de forma que a simulação confirmou a possibilidade de redução de potência de equipamentos.

Diante disso, foi realizado um novo orçamento com as empresas, solicitando propostas com a redução de potência dos equipamentos. As propostas ajustadas estão na tabela 11, abaixo.

Tabela 12: Resumo de valores das propostas comerciais ajustadas

Descrição do Equipamento	quant.	Potência Total (kW)	Custo de equipamentos	Custo de instalação	Custo Total
Split piso-teto convencional	4	42	R\$24.144,00	R\$12.285,00	R\$36.429,00
Split piso-teto inverter	4	42	R\$33.380,00	R\$12.285,00	R\$45.665,00

Fonte: Elaborado pela autora

De posse das novas propostas, fez-se um comparativo, considerando os custos de implantação e operação de dois cenários: o mais econômico financeiramente (a envoltória atual e o uso de equipamentos de vazão fixa de 70,3 kW de capacidade de refrigeração) e aquele mais econômico tecnicamente (alteração da envoltória através da pintura das telhas e equipamentos inverter com 42,4 kW).

A tabela 13 reúne os dados desses dois cenários.

Tabela 13: *Payback* de implantação do sistema mais econômico

	Split + telha atual	Inverter + telha branca
Equipamentos e instalação	R\$ 64.952,00	R\$ 45.665,00
Envoltória	atual	R\$ 43.963,94
Total de instalação	R\$ 64.952,00	R\$ 89.628,94
Custo de operação anual	R\$ 5.042,61	R\$ 3.159,63
Payback (anos)		13,1 anos

Fonte: Elaborado pela autora

Considerando os valores economizados nos custos de operação anual, fez-se um cálculo de *payback* simples, validando em quanto tempo a economia geraria recursos suficientes para cobrir a diferença dos custos iniciais de implantação. Embora os resultados apresentem reduções de consumo significativas, quando analisados os valores que essa redução representa anualmente e os custos de implantação dos sistemas, percebe-se que o investimento inicial para pintura das telhas e o investimento para aquisição de equipamentos mais eficientes gera um *payback* de 13,1 anos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo desta dissertação tem por objetivo estabelecer conclusões a respeito da pesquisa realizada e sugerir recomendações para trabalhos futuros relacionados a temática.

Esta dissertação teve como objetivo principal analisar as condições térmicas das salas de aula do campus Unisinos São Leopoldo. Através do uso do *software* Energy Plus foi possível verificar que a situação atual das salas de aula, conforme já apontado nas pesquisas internas da universidade, é crítica. As salas apresentam temperaturas extremas, situação essa, que traz prejuízo ao desenvolvimento das atividades propostas no ambiente como apontam pesquisas de SARBU, PACURAR, (2015)ONICO, LIUZZI, STEFANIZZI (2015).

Na Unisinos percebe-se a importância de garantir condições de conforto aos alunos, permitindo assim maior rendimento de suas atividades. No entanto, a estrutura física existente construída há 45 anos não está adequada às atuais tecnologias. Com o aumento da vida útil das edificações, são necessárias renovações constantes para mantê-las atualizadas. (KURUL, 2007; LANGSTON et al.. 2007) E toda intervenção que adote sistemas mecânicos de climatização irá aumentar o consumo anual de energia da universidade. Diante disso, buscou-se inicialmente, analisar propostas de sistemas passivos que pudessem aumentar os períodos de conforto, exigindo um investimento inicial, mas sem impactos nos custos mensais de energia elétrica. Torna-se necessária a busca de alternativas para garantir o conforto nos espaços de ensino e aprendizagem minimizando a dependência energética. Contudo, o clima no qual o projeto está implantado, subtropical úmido, caracteriza-se por uma grande variação de temperaturas.

Tal fator impediu a obtenção de uma adequação de temperatura para atingir níveis satisfatórios de conforto apenas com sistemas passivos. Buscou-se então identificar a melhor combinação de sistemas ativos e passivos do ponto de vista técnico-econômico através de simulações computacionais.

As simulações podem trazer grandes benefícios não somente em relação às despesas mensais de consumo da edificação, mas também a longo prazo para o dimensionamento de impactos sociais e ambientais. Este trabalho utilizou simulação computacional termoenergética para realizar um estudo comparativo entre sistemas

de envoltória e sistemas de ar-condicionado, quantificando o consumo de cada um deles na mesma edificação.

Neste estudo de caso, os resultados apontam que a pintura do telhado de cor branca e o uso de sistema de ar-condicionado VRF mostrou-se mais eficiente energeticamente, tendo um consumo de energia elétrica 37,34% menor que as propostas comerciais apresentadas sem alterações na edificação.

Neste cenário, soluções amplamente divulgadas no mercado como mais eficientes, como o uso de telhas sanduíche foram desmistificadas. Nesse sentido, o estudo reforça a necessidade de análise das características individuais de cada projeto.

A partir dos resultados obtidos é possível perceber a importância da simulação termoenergética para a busca de soluções que aumentem a eficiência energética da edificação. O estudo mostra que adotando algumas estratégias arquitetônicas pode-se obter um ambiente construído com melhor desempenho térmico e menor consumo de energia.

Embora o estudo de caso aponte um *payback* de longo prazo, cabe ressaltar que outros aspectos além do econômico devem ser considerados como, por exemplo, os impactos ambientais. Cabe ressaltar ainda que o resultado obtido considera como base o contrato atual de fornecimento de energia e cada uma das características da edificação como uso, posição solar, materiais têm influência neste resultado. Desta forma, este estudo não pode ser extrapolado para outras edificações

Um projeto bem solucionado garante a habitabilidade da edificação, reduz a dependência por sistemas mecânicos e melhora o desempenho térmico reduzindo gastos energéticos. Isso garante uma melhoria não só da edificação, mas contribui para a melhoria de vida em todo o planeta, uma vez que os recursos passam a ser utilizados racionalmente.

7 TRABALHOS FUTUROS

Foram muitas questões surgidas no desenvolvimento desta pesquisa. As limitações encontradas indicam que o assunto abordado nesta pesquisa, principalmente, no contexto nacional, ainda se encontra em fase inicial de investigação. Essa lacuna sugere novos caminhos para o prosseguimento dos estudos. Entre as sugestões estão:

- a. obter dados reais de equipamentos através de testes realizados *in loco*;
- b. realizar um comparativo entre os modelos disponibilizados pelo Energy Plus e dados reais obtidos em teste de equipamentos para corroborar os resultados obtidos;
- c. pesquisar o desempenho térmico de materiais nacionais, ampliando as referências;
- d. analisar o rendimento acadêmico sob diferentes condições de conforto.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, Maria; SATO, Neide Matiko Nakata; PEDROSO, Nelson Garcia. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares**: manual de procedimentos para avaliação. São Paulo: IPT, 1987. 74 p.

ASHRAE, A. N. S. I. Standard **55-2004**, Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Atlanta, GA, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. Família de normas ISO14000. **NBR ISO 14000**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR. 16401-1**—Instalações de ar condicionado—Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR. 16401-3**—Instalações de ar condicionado—Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008

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

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de Edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AZEVEDO, Giselle Arteiro Nielsen. **Arquitetura Escolar e Educação**: um modelo conceitual de abordagem interacionista. 2002. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BRASIL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica**. Brasília: [s.n.], 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2014: ano base 2013: sumário executivo**. Rio de Janeiro. 2015

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sun, Wind & Light: architectural design strategies**. New York: John Wiley & Sons, 2000. 382 p.

BLUM, Rodrigo W. **Nova Perspectiva**. Unisinos em imagens. 11 junho 2014.. 1 fotografia, color. Disponível em: < <https://www.flickr.com/photos/unisinos/14414411705/in/album-72157633174890802>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

BRUNDTLAND, Gro Hariem. World commission on environment and development. **Environmental policy and law**, v. 14, n. 1, p. 26-30, 1985.

CABRAL, T. O. **Arquitetura, Conforto e Iluminação**: A importância do estado da transcendência. Especialize, São Paulo, Jan 2013.

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN-GEIGER. In: **WIKIPÉDIA**: a enciclopédia livre. San Francisco, CA, 21 jun. 2011. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger >. Acesso em: 29 jun. 2015.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003. 287 p.

COSTA, E. C. D. **Arquitetura Ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Blucher, 1982. 265 p.

CUNHA, E. G. D. **Elementos de arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência energética nas edificações**. 2ed. Porto Alegre: Masquatro, 2006. 188 p.

DA GRAÇA, V. A. C.; KOWALTOWSKI, D. C.C. K.; PETRECHE, J. R.D. An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. **Building and environment**, v. 42, n. 2, p. 984-999, 2007.

DE MOURA FLORES, J. A. **SUSTENTABILIDADE NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS TRADICIONAIS**. Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, Lisboa, 2016

DE OLIVEIRA, Lucas Rebello et al. **Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações**. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2012.

DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. Paulo. Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 12, 2014.

ELETROBRÁS–CENTRAIS ELÉTRICAS, S. A. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (ano base 2005). Classe Residencial–Relatório Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: julho, 2007.

FARIA, M. A. **Avaliação das condições de conforto térmico nas salas de aula do campus morro do cruzeiro da UFOP**. 2013. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

FERNANDES, Sílvia et al. Soluções bioclimáticas tradicionais e sua adaptação à construção atual. **CLME 2014-IVCEM**, p. 167-168, 2014.

FITZSIMMONS, J. A. . & F. M. J. **Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

FURTADO, André. Crise energética e trajetórias de desenvolvimento tecnológico. **Ciclo de Seminários: Brasil em Desenvolvimento**, UERJ, 2003.

GELLER, H. S. O Uso Eficiente da Eletricidade–. **Uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro: INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1994. 223p.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; DUARTE, Denise Helena Silva. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente construído**, v. 6, n. 4, p. 51-81, 2006.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, p. 61, 2002.

HERTZ, J. B. **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo: Pioneira, 1998. 125 p.

ISO, En. **7730: 2005**:“Ergonomics of the thermal environment–Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”. International Organization for Standardisation, Geneva, 2005.

JONES, D. L. **Architecture and the environment**. London: Laurence King, 1998. 256 p.

KURUL, Esra. A qualitative approach to exploring adaptive re-use processes. **Facilities**, v. 25, n. 13/14, p. 554-570, 2007.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, ANTONIO AUGUSTO; GOULART, SOLANGE. **Conforto e stress térmico**. LabEEE, UFSC, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2. ed., rev. ed. São Paulo: Polilivros, 2004. 188 p.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PAPST, Ana L. **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

LECHNER, N. **Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects**. 3rd ed. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 698 p.

MARINOSKI, D. L. et al. **Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar através de aberturas**. Dissertação (mestrado) - Universidade

Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2005.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estudo de caso: uma estratégia de pesquisa**. São Paulo; Atlas; 2008.101p.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre: Sagra-Dc Luzzatto, 1992.

MEDEIROS, J. **Análises e propostas: crise ambiental e a Rio+20 na visão da sociedade e do governo brasileiro**. 2012.

MELO, A. P.; BARCELOS, M.M. **Treinamento do programa de simulação computacional EnergyPlus**. Florianópolis. 2015.

MENDES, Nathan et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 4, p. 47-68, 2005.

MORETTINI, Renato. **Tecnologias construtivas para a reabilitação de edifícios: tomada de decisão para uma reabilitação sustentável**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.2012.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Uso racional. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 91, 2007.

NICO, Maria Anna; LIUZZI, Stefania; STEFANIZZI, Pietro. Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis. **Applied ergonomics**, v. 48, p. 111-120, 2015.

OLIVEIRA, L. R. De, MEDEIROS, R. M., TERRA, P. D. B., & QUELHAS, O. L. G. (2012). Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. **Produção**, 22(1), 70–82. <http://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000062>

ORDENES, Martí et al. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1**. UFSC. Florianópolis, 2003.

PACHECO-TORGAL, Fernando et al. (Ed.). **Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs: Design, Properties and Applications**. Woodhead Publishing, 2015.

PARODE, Fábio; BENTZ, Ione; ZAPATA, Maximiliano. DESIGN ESTRATÉGICO E ARTESANATO: RESSIGNIFICAÇÃO, ARTE E SUSTENTABILIDADE. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 9, p. 3205-3216, 2016.

PEDRINI, Aldomar. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climates**. 2003. Tese de Doutorado. The University of Queensland

PIRES, Josiane Reschke. **Investigação da viabilidade da redução do consumo de energia elétrica em edificações residenciais através da aplicação de soluções de conforto ambiental passivo** 228 p. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.2013

PROCEL EDIFICA. **Eficiência Energética nos Edifícios e Sustentabilidade no Ambiente Construído**, Rio de Janeiro, p. 53, ago 2011. Louize Land B. Lomardo. REGULAMENTADORA, Norma. 17–MTE-NR 17 e suas alterações–Ergonomia. DF, BR.

RIBEIRO, S. L. Espaço escolar: um elemento (in)visível no currículo. **Sutuentibus**, Feira de Santana, n. 31, jul./dez. 2004. 103-118.

RIVERO, R. **Arquitectura y clima: acondicionamiento térmico natural**. Montevideo: Universidad de la republica, 1988. 278 p.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: um guia de sobrevivência para o século XXI**. Porto Alegre: Bookman, 2009 (a). 384 p.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 3. ed.. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009 (b). 488 p.

ROSSETTO, Adriana Marques et al. **Proposta de um sistema integrado de gestão do ambiente urbano (SIGAU) para o desenvolvimento sustentável de cidades**. 334f. Tese de doutorado Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. 2003

SEPPANEN, Olli; FISK, William J.; LEI, Q. H. Effect of temperature on task performance in office environment. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, 2006. 5th International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air Conditioning. Disponível em: < <http://www.worldcat.org/title/effect-of-temperature-on-task-performance-in-officeenvironment/oclc/316302532#details-allauthors>> acesso em setembro/2016

SIGNOR, Régis. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.1999.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica & condicionamento de ar**. 5.ed. ed. Belo Horizonte: Edtal, 2005. 339 p.

SOARES, S. L. P. **Estudo comparativo do consumo de energia entre sistemas de condicionamento de ar com velocidade fixa e variável**, 2013. 104f.Trabalho de

conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2013

SOUSA, A. S. D. **Arquitetura bioclimática para instituição de ensino fundamental em são gonçalo do amarante/RN**. Natal: [s.n.], 2014. 262 p.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **La casa Pasiva: Clima y ahorro energetico**. Madrid: Hermann Blume, 172 p. Traduzido de Regional guidelines for building passive energy conserving homes.

VENTURA, Magda Maria. **O estudo de caso como modalidade de pesquisa**. Rev Socerj, v. 20, n. 5, p. 383-6, 2007.

VETTORAZZI, Egon; RUSSI, Madalena; DOS SANTOS, Joaquim C. Pizzutti. **A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar**. In: Congresso internacional de Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. Porto Alegre. 2010.

Yin, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Bookman editora, 2015.

ZOMORODIAN, Zahra Sadat; TAHSILDOOST, Mohammad; HAFEZI, Mohammadreza. Thermal comfort in educational buildings: A review article. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 895-906, 2016