

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO POR SIMULAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO DA UFRGS COM ENERGIA LÍQUIDA
ZERO

por

EDUARDO HENRIQUE SCHMIDT

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Novembro de 2015

PROJETO POR SIMULAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO DA UFRGS COM ENERGIA LÍQUIDA
ZERO

por

EDUARDO HENRIQUE SCHMIDT

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração **Ciências Térmicas**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Comissão de Avaliação:

Prof. Dra. Letícia Jenish Rodrigues

Prof. Dra. Thamy Cristina Hayashi

Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello

Porto Alegre, 17, novembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, Alveni e Maristela, que me deram todo suporte, incentivo e amor para conseguir atingir esse objetivo. Sem eles, nada disso seria possível.

Gostaria de agradecer ao meu irmão, Vinicius, pelo exemplo, companheirismo e apoio ao longo de todos esse anos.

Aos meus colegas de UFRGS, que tornaram toda essa jornada da graduação mais agradável e contribuíram, de alguma forma, na minha formação. Em especial, gostaria de agradecer aos “Peões com Grife”.

Aos colegas da Petinelli, que entenderam o momento de TCC e minhas ausências, além de todo conhecimento técnico ensinado a mim, que me permitiu elaborar esse trabalho.

Ao Professor Dr. Paulo Beyer, por sua disposição em ajudar, sempre contribuindo positivamente com o Trabalho e esclarecendo dúvidas.

Ao grupo da UFRGS do Campus de Tramandaí/RS pela oportunidade de desenvolver esse trabalho e pela desposição e ajuda sempre que precisei.

A todos professores do DEMEC que contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal.

SCHMIDT, E.H. **PROJETO POR SIMULAÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO DA UFRGS COM ENERGIA LÍQUIDA ZERO**. 2015. 20 pg. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015

RESUMO

Edificações sustentáveis vêm se consolidando cada vez mais como uma opção frente às construções regulares pois, além das vantagens obtidas pelo conforto e qualidade que elas proporcionam, afetando pouco o meio-ambiente, vêm também sendo uma opção vantajosa financeiramente, uma vez que os custos operacionais são minimizados. O presente trabalho aborda o projeto por simulação de uma edificação da UFRGS a ser construída no *Campus* de Tramandaí/RS, em que o objetivo se torna, primeiramente, propor medidas que reduzem o consumo energético da edificação, avaliando também o seu conforto térmico, para então, por meio de estimativas para produção de energia solar, analisar a viabilidade de tornar a edificação em um NZEB (*Net Zero Energy Building*), edificação com balanço de energia líquida anual zero ou positivo. Os resultados obtidos foram de 290 h de desconforto anuais, abaixo do limite estipulado por norma, e a estimativa de produção de energia superou o consumo num balanço anual de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Edificações sustentáveis, NZEB, Energyplus, Projeto por Simulação.

SCHMIDT, E.H. **DESIGN BY SIMULATION OF AN UFRGS FACILITY WITH NET ZERO ENERGY**. 2015. 20 pg. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015

ABSTRACT

Sustainable buildings have been standing out in the marketplace comparing to regular buildings because, besides the advantages of well-planned design project, such as high thermal comfort, air quality, with less impact on the environment, sustainable buildings have also been pointed out as strategy to save money, since the operational costs are much lower than regular buildings. The present work aims to design by simulation an UFRGS facility to be built in Tramandaí/RS, and the main goal is to propose solutions which reduce the building energy consumption, evaluating thermal comfort as well. Secondly, it will be attempted to design a Net Zero Energy Building by means of solar energy potential estimative. The results shown 290 h of uncomfortable hours of operation, in compliance to applicable standards, and the potential for solar energy production was greater than the annual energy consumption estimative.

KEYWORDS: Sustainable buildings, NZEB, Energyplus, Project by Simulation

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
4.1. Ventilação – Princípios e Conceitos	2
4.2. Conforto Térmico	2
4.3. Renovação de Ar – Ventilação Natural.....	3
4.4. Propriedades dos Vidros	3
4.5. EnergyPlus – Metodologia de Cálculo	4
4.6. Pressão de Vento.....	6
5. METODOLOGIA	6
5.1. Cargas Internas.....	8
5.2. Envoltório	8
5.3. Painéis Fotovoltaicos	11
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
7. CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
APÊNDICE I.....	16
ANEXO	19

1. INTRODUÇÃO

O tema construções sustentáveis está cada vez mais presente nas pautas de discussões de hoje pois, ao passo que antigamente havia apenas o apelo do uso racional dos recursos naturais, hoje, em muitos cenários, também se apresenta como uma opção altamente vantajosa em termos de retorno de investimento.

Governos em todo mundo estão cada vez mais incentivando, por meio de subsídios e outras medidas, projetos de autossustentabilidade, preocupados com a manutenção dos recursos naturais de seus países, e com as suas matrizes energéticas, em que planejamentos energéticos são constantemente reavaliados devido à crescente demanda energética a qual, muitas vezes, cresce com taxas superiores à ofertada pela infraestrutura local.

Além das vantagens econômicas, as edificações sustentáveis são capazes de prover inúmeros benefícios aos ocupantes, como em termos de conforto, funcionalidade e qualidade, dado o intenso estudo na concepção de tais edificações, sempre visando a melhor combinação entre satisfação dos usuários sem comprometer a infraestrutura presente e de futuras gerações.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe o estudo para viabilizar a futura construção de uma unidade no *Campus* UFRGS de Tramandaí/RS em uma edificação com energia líquida zero, garantindo não somente a autossuficiência energética, como também a qualidade e conforto para os futuros ocupantes.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é propor medidas que reduzem o consumo anual de uma edificação da UFRGS a ser construído no Campus de Tramandaí/RS, e analisar a viabilidade de tornar a edificação em um prédio com energia líquida anual zero ou positiva, conhecido internacionalmente pela sigla NZEB (*Net Zero Energy Building*).

Essa análise de viabilidade será realizada a partir da estimativa do potencial de produção de energia solar no local, utilizando-se do sistema de compensação de energia elétrica, conhecido por *Net Metering*.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Torres, 2011, trabalhando a orientação, medidas aplicadas no envoltório, aproveitando-se da iluminação e ventilação natural, aliado à utilização de uma torre de convecção, alcançou um prédio NZEB com balanço energético anual líquido de 1500 kW·h, atingindo limites de conforto aceitos por norma para uma edificação em Porto Alegre/RS, onde a amplitude térmica é maior que para Tramandaí/RS, local do presente trabalho.

Aplicando, também, a ventilação natural, Seyboth, 2015, constatou que para temperaturas externas amenas, o uso da ventilação natural se torna um grande fator de influência para a manutenção de uma temperatura interna agradável.

Papst, 1999, analisando uma edificação em Florianópolis/SC, por meio de medições horárias de temperatura de bulbo seco em três edificações durante 9 meses, concluiu que uma edificação com alta inércia térmica pode trazer resultados satisfatórios na manutenção do clima durante o inverno. No entanto, deve-se atentar quanto à orientação solar da edificação, evitando que as fachadas leste e oeste permaneçam sem proteções e, também, tais edificações necessitam de um bom gerenciamento na operação da edificação, pois a ventilação tem papel determinante no bom funcionamento e manutenção da temperatura.

Neves e Roriz, 2012, por meio de simulações realizadas no EnergyPlus, avaliaram o desempenho de uma chaminé térmica otimizada para máxima insolação e vazão mássica sendo retirada da zona em que a chaminé estava contida. Os autores obtiveram em seu trabalho resultados experimentais que diferiram em menos de 20% dos simulados, os quais apontavam para uma contribuição no conforto térmico, induzida pelo efeito chaminé.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Ventilação – Princípios e Conceitos

Conforme Beyer, 2014, as trocas de ar entre ambientes internos e externos são divididas em ventilação e infiltração. A ventilação pode ser natural ou forçada, sendo a natural o fluxo de ar que não utiliza energia, ocorrendo por meio de aberturas, sejam elas janelas, portas ou outras aberturas da envoltória do prédio, e que têm seus escoamentos de ar causados por diferença de pressão.

4.1.1. Efeito Chaminé

Diferenças de temperatura interna e externa causam diferença de massa específica e, conseqüentemente, diferenças de pressão, que podem causar ventilação. Sendo a massa específica do ar função de sua temperatura e pressão, o ar de maior temperatura, geralmente o do interior de um ambiente, quando comparado ao externo, tende a subir devido a sua menor massa específica, permitindo que a ventilação ocorra através do ar frio externo entrando no ambiente por aberturas inferiores, exaurindo o ar quente por aberturas superiores. Esse efeito está representado na Figura 4.1 e, conforme Beyer, 2014, a partir da equação de Bernoulli, tem-se que o comportamento pode ser descrito pela Equação 4.1 abaixo.

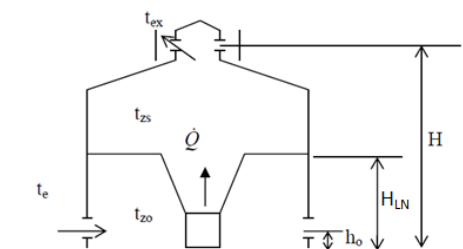


Figura 4.1 - Representação da ventilação por efeito chaminé

$$\Delta P = g[(H_{LN} - h_o)(\rho_e - \rho_{zo}) + (H - H_{LN})(\rho_e - \rho_{ex})] \quad (4.1)$$

na qual ΔP representa a diferença de pressão [Pa], H_{LN} a altura da linha neutra de pressões [m], h_o a altura da abertura inferior [m], H a altura da abertura superior [m], ρ_e a massa específica do ar externo ao ambiente [kg/m^3], ρ_{zo} a massa específica do ar interno abaixo da linha neutra [kg/m^3], ρ_{ex} a massa específica do ar sendo exaurido do ambiente [kg/m^3], e g a aceleração da gravidade [$9,81 \text{ m/s}^2$].

4.2. Conforto Térmico

“Conforto Térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de energia as quais está submetido um corpo for nulo ou próximo de zero, e a temperatura da pele e a evaporação-transpiração estiverem dentro de uma certa faixa de controle, pode-se dizer que este homem está em conforto térmico.” [ASHRAE, Standard 55 - 2004].

Dada a definição de conforto e como há variações psicológicas e fisiológicas de pessoa para pessoa, delimitou-se uma região de conforto, apresentada na Figura 4.2, denominada de conforto adaptativo pela ASHRAE Standard 55 - 2004, construída a partir de 21.000 medições realizadas em prédios em diferentes climas no mundo.

Essa região é aplicável para ambientes onde o nível de atividade metabólica se encontra entre 1.0 e 1.3 Met, o qual corresponde a um intervalo de valores que engloba atividades como as exercidas em um escritório, por exemplo.

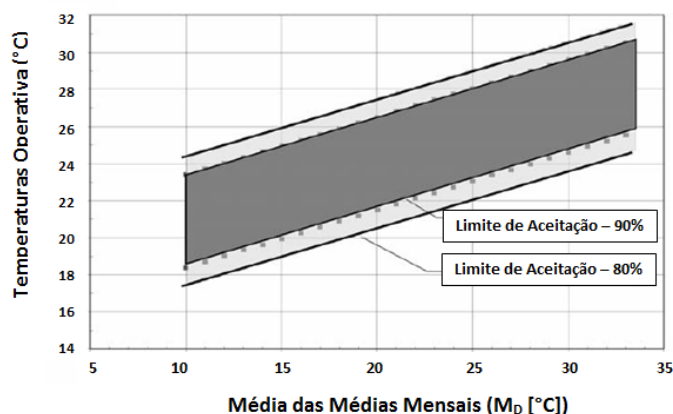


Figura 4.2. - Região da zona de conforto adaptativo conforme ASHRAE Standard 55 - 2004.

Essa região é delimitada pela relação entre a temperatura operativa, e a média das médias mensais M_D , como apresentado na Equação 4.2 abaixo.

$$M_D = \frac{\overline{T_{mín\ dia}} + \overline{T_{máx\ dia}}}{2} \quad (4.2)$$

em que $\overline{T_{mín\ dia}}$ representa a média entre as mínimas de cada dia do mês [°C], e $\overline{T_{máx\ dia}}$ representa a média entre as máximas de cada dia do mês [°C].

Já a temperatura operativa, eixo vertical do gráfico, é definida como a média entre as temperaturas de bulbo seco interna e as temperaturas radiantes das superfícies.

A Figura 4.2, portanto, dadas as variáveis que delimitam a região de conforto, engloba desconfortos locais e também se adequa ao nível de vestimenta dos indivíduos, por meio dos limites estipulados de acordo com as temperaturas mensais.

4.3. Renovação de Ar – Ventilação Natural

De acordo com a ASHRAE Standard 62.1 - 2007, a qualidade aceitável do ar é determinada pela ausência de contaminantes em concentrações prejudiciais a saúde, conforme estipulado por autoridades competentes, e que a grande parte do número de pessoas expostas (80% ou mais) não apresenta descontentamento com a qualidade do ar.

Conforme indica a norma, para assegurar tal qualidade, deve-se ter uma renovação do ar, que pode ser feita por meio de ventilação natural, desde que as aberturas permaneam constantemente abertas e a uma distância de até 8 m da sua parede oposta. Caso o ambiente possua aberturas para o ambiente externo, a área operável destas janelas deve representar, no mínimo, 4% da área ocupável de piso, sem que haja obstruções. No caso de renovação de ar indireta, por meio de outro ambiente o qual possui aberturas para o ambiente externo, a abertura entre eles deve representar, no mínimo, 8% da área de piso.

4.4. Propriedades dos Vidros

Conforme ASHRAE, 2009, a transferência de calor proveniente da radiação solar por meio de janelas tem duas componentes: a parcela transmitida da radiação solar, e a parcela proveniente da absorção da radiação incidente. A primeira é obtida pela multiplicação da irradiância pela transmitância da superfície translúcida; a segunda, obtida através do produto da irradiância pela x' do corpo translúcida. Dessa segunda parcela, o calor é transmitido para dentro do ambiente através de fenômenos de convecção e radiação.

Trânsmitância visível é definida como a radiação solar transmitida ponderada para comprimentos de onda visível ao olho humano. Ou seja, representa a percepção de claridade transmitida pela radiação para os ocupantes de um ambiente.

4.5. EnergyPlus – Metodologia de Cálculo

A ferramenta computacional utilizada nas simulações foi o EnergyPlus, um programa computacional que foi criado a partir da junção dos programas BLAST e DOE-2, compilado e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. O programa é uma combinação de diversos módulos que trabalham juntos para calcular a demanda energética em uma edificação.

Conforme o Engineering Reference, 2013, a equação do balanço de energia calculado pelo programa nas zonas térmicas é dado pela Equação 4.3 abaixo.

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superf.}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (4.3)$$

onde $C_z \frac{dT_z}{dt}$ é a energia acumulada no volume de ar da zona térmica, $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ é a soma das cargas internas convectivas, $\sum_{i=1}^{N_{superf.}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é o termo de transferência de calor convectivo pelas superfícies das zonas, $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ é termo de transferência de calor pela infiltração do ar de outras zonas, $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ é termo de transferência de calor dado pela infiltração de ar externo, e \dot{Q}_{sys} é o fluxo de calor dado pelo sistema de condicionamento do ar.

No caso de ventilação natural, o EnergyPlus trabalha via objeto *AirflowNetwork*, o qual permite o cálculo de vazões de ar em zonas térmicas dadas as velocidades e direções do vento incidente. O processo consiste em etapas, em que, na primeira, são calculadas as pressões e as vazões mássica de ar nos nós, para então proceder para os cálculos de temperatura e umidade. Por fim, calcula-se as cargas sensíveis e latentes. A metodologia de cálculo foi desenvolvida a partir do modelo computacional desenvolvido por Walton, 1989, denominado como *Airnet*.

Nela, existem duas possibilidades de simulação: a primeira, via *Detailed Opening* e a segunda, *Simple Opening*, onde a diferença consiste no fato de que a primeira considera tanto a pressão, quanto a densidade do ar como funções da altura, e permite, assim, cálculos de escoamento com até duas inversões de sentido, chamado de *three-way flow* pelo método. A segunda trata apenas a pressão como dependente da altura, possibilitando, assim, somente escoamento de ar com uma inversão de sentido, denominado como *two-way flow*. A Figura 4.3. representa, graficamente, essas inversões de sentido para cada caso.

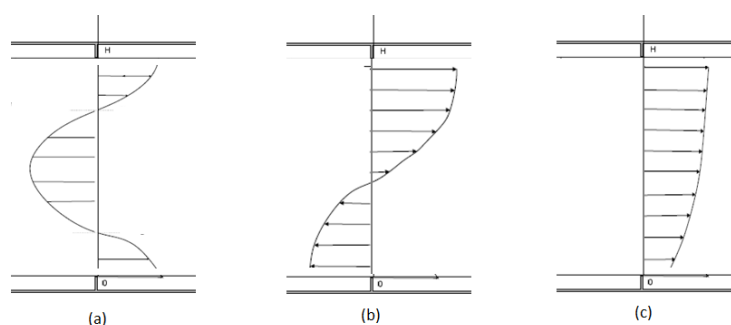


Figura 4.3. – Representação dos escoamentos de ar através uma abertura. À esquerda, em (a), tem-se o escoamento chamado por *three-way flow*. Ao Centro, (b), o escoamento *two-way flow* e, em (c), *one-way flow*.

A simulação de ventilação trata o modelo como uma rede de nós, onde os nós representam as zonas térmicas, e as variáveis de cada nó são as respectivas pressões, sendo a conexão

entre eles os escoamentos de ar, governados pela equação de Bernoulli, que está representada na Equação 4.4 para o balanço nos nós.

$$\Delta P = \left(P_n + \rho \frac{V_n^2}{2} \right) - \left(P_m + \rho \frac{V_m^2}{2} \right) + \rho g(Z_n - Z_m) \quad (4.4)$$

na qual ΔP representa a diferença de pressão total entre os nós n e m, P_n e P_m a pressão estática na entrada e saída dos respectivos nós, [Pa], V_n e V_m as velocidades de entrada e saída das correntes de ar, [m/s], e Z_n e Z_m as respectivas alturas de entrada e saída dos nós n e m, [m].

Assumindo as hipóteses de Bernoulli em ambos os lados dos nós, a velocidade a uma determinada altura Z é dada pela Equação 4.5.

$$V(z) = \sqrt{2 \frac{P_1(z) - P_2(z)}{\rho}} \quad (4.5)$$

Como ressaltado, no método *Detailed Opening*, tanto a pressão, quanto a massa específica são tratadas como funções lineares da altura. Dada a Equação (4.5), onde há ponto de equilíbrio de pressões, implicará em velocidade nula. Quando a equação possuir nenhuma raiz real, o comportamento será o de um escoamento do tipo *one-way flow*, com a linha neutra fora do intervalo de abertura da janela, em que a vazão mássica de ar atravessando a janela é dada por:

$$\dot{m}_{0,z1} = C_D \theta \int_{z=0}^{z=H} \rho V(z) W dz \quad (4.6)$$

na qual C_D é o coeficiente de descarga [adimensional], θ é o fator de redução de ar da abertura, [adimensional], e W a largura da abertura [m].

O escoamento para o caso de a Equação 4.5 possuir uma raiz real será com um comportamento do tipo *two-way flow*, e para o caso de duas raízes reais, tem-se um escoamento do tipo *three-way flow*. A metodologia de integração das vazões mássicas para esses casos seguem procedimento análogo ao apresentado na Equação 4.6, apenas diferindo para que os limites de integração sejam delimitados pelas raízes da Equação 4.5.

Esse método para determinar a vazão mássica é aplicável em janelas retangulares, sem pivotamento vertical ou horizontal. Quando simulado para aberturas pivotadas, deve-se aplicar um fator de correção para a largura de abertura, caso a altura da raiz real da Equação 4.5 estiver no intervalo delimitado pelo tamanho das aberturas, como demonstrado na Figura 4.3.

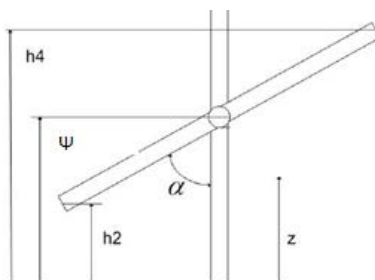


Figura 4.3 – Representação de uma janela basculante e indicação das variáveis utilizadas no fator de correção da largura

Nesse caso, para $h2 < z < h4$, tem-se que:

$$W_{pivot} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{W^2} + \frac{1}{2(\Psi - z)tg(\alpha)}^2}} \quad (4.7)$$

na qual Ψ representa a distância do ponto de pivotamento para a altura de referência [m], e α o ângulo de abertura da janela pivotada [°].

Para essa situação, a equação de vazão mássica assume a forma dada na Equação 4.8.

$$\dot{m}_{pivot} = C_D \theta \int_{z=h_2}^{z=h_4} \rho V(z) W_{pivot} dz \quad (4.8)$$

Após calculadas as vazões mássicas, procede-se para o cálculo de temperatura e umidade nos nós para procedimento no cálculo do balanço de energia das zonas.

4.6. Pressão de Vento

As pressão exercida pelo vento são calculadas a partir da equação de Bernoulli, assumindo que não há perdas de pressão, ou mudanças na altura, a qual se mostra na forma:

$$P_w = \frac{C_p \rho V_{ref}^2}{2} \quad (4.9)$$

na qual P_w representa a pressão por vento em um escoamento sem perturbações [Pa], C_p são os coeficientes de pressão do vento [adimensional], e V_{ref} é a velocidade referência a uma determinada altura do solo. A V_{ref} pode ser calculada pela seguinte equação, conforme ASHRAE, 2009.

$$V_{ref} = V_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{z_{met}} \right)^{a_{met}} \left(\frac{z}{\delta} \right)^a \quad (4.10)$$

na qual V_{met} é a velocidade meteorológica do vento, assumida para uma estação localizada em campo abertos, sem obstruções, a uma altura z_{met} de 10 m [m/s], e δ , a e a_{met} são fatores de ajuste dependentes da forma do relevo, retirados conforme ASHRAE, 2009.

5. METODOLOGIA

Responsáveis pelo empreendimento no Campus UFRGS Litoral Norte forneceram as informações de projeto, que consistiram em projetar um espaço que comportasse duas salas de aula, com capacidade para aproximadamente 20 alunos cada, além de três ambientes, divididos entre salas de monitoria, reuniões, e um espaço maior para convenções e grandes reuniões. Na área externa foi requisitado um espaço que servisse como um solário para realização de algumas atividades do curso de Física, além da possibilidade de se tornar um espaço para lazer ao ar livre. O local a ser construído está apresentado na Figura I-A do Apêndice I.

Dado a latitude de Tramandaí, 30°S, e a trajetória solar, têm-se que, durante o verão, as fachadas leste e oeste da edificação são as que recebem maior intensidade de radiação solar. Logo, atentou-se para se posicionar proteções nessas fachadas, por meio da utilização de chapas perfuradas que absorvem parte da radiação incidente. Não somente o emprego de proteções, como também a edificação foi disposta de maneira que nenhum ambiente

regularmente ocupável estivesse na fachada oeste. A partir dessas informações, o modelo geométrico foi criado usando o software *Google SketchUp*, em que cada ambiente foi delimitado como uma zona térmica. A Figura 5.1 apresenta em (a) a planta baixa do modelo, e em (b) vistas isométricas do modelo geométrico. A partir do modelamento geométrico da edificação do *SketchUp*, toda sua simulação foi realizada no software *EnergyPlus* versão 8.3.

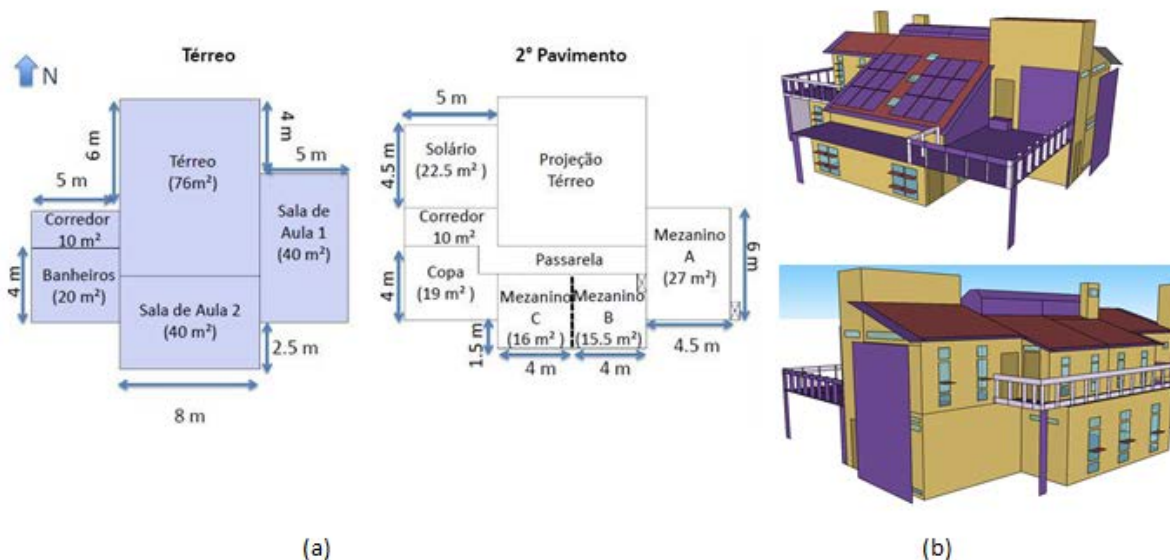


Figura 5.1 – Em (a), planta baixa do modelo proposto; em (b), vistas em perspectiva da edificação

Externa e internamente a edificação foi pintada de branco, uma vez que o cor branca possui alta refletância, com valor de refletividade de $\rho=0.2$ para comprimentos de onda entre 300 e 2500 nm, conforme anexo 50/2013 da portaria do INMETRO, o qual é o catálogo para propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros.

As cisternas de captação de água da chuva foram instaladas sobre a área de circulação, ficando localizadas sobre a cozinha e os banheiros, dispensando, assim, o uso de bombas que contribuiriam para o consumo do prédio.

Como ressaltado, desejava-se que os ambientes fossem extremamente modulares e que houvesse a possibilidade da edificação se tornar um grande salão de eventos integrado. Para atingir tal objetivo, as divisórias internas dos ambientes: Sala de Aula 1, Sala de Aula 2, Mezaninos A, B e C, foram projetadas para serem compostas por divisórias rotuladas, conforme pode ser visto em anexo a configuração do produto do fabricante SPR. Com isso, tem-se a seguinte disposição, apresentada na Figura 5.2.



Figura 5.2 – Em (a), configuração fechada; em (b), salas integradas.

5.1. Cargas Internas

Na Tabela 5.1 estão contidas as informações levantadas para as cargas internas presentes nos ambientes.

Tabela 5.1 – Dados de equipamentos e ocupação para os ambientes

	Sala de Aula 1	Sala de Aula 2	Mezanino A	Mezanino B	Mezanino C	Copa	Térreo
Equipamentos	1 Laptop 1 Projetor	1 Laptop 1 Projetor	3 Desktops 3 Monitores 2 Laptops	3 Desktops 3 Monitores 2 Laptops	1 Desktop 1 Monitor 2 Laptops 1 Projetor	1 Refrigerador 1 cafeteira 1 microondas	1 Desktop 1 Monitor 2 Laptops 1 Projetor + 11 W/m ² ¹
Pessoas	26 pessoas	26 pessoas	5 pessoas	5 pessoas	7 pessoas	-	76 pessoas ²
Iluminação	Luminárias LED	Luminárias LED	Luminárias LED	Luminárias LED	Luminárias LED	Luminárias LED	Luminárias LED

¹- Dados de potência para ambiente de sala de aula multiuso, conforme *Department of Energy, EUA*.

²- Dados de Ocupação Retirados da ASHRAE para espaço Multiuso (1 pessoa/m²)

As ocupações dos ambientes, que até então eram desconhecidas por eles, foram estimados a partir de dados da ASHRAE, já os equipamentos selecionados pertencem a classe de equipamentos com selo do padrão internacional *EnergyStar*, que certifica produtos de alto desempenho com baixo consumo energético.

Para a iluminação, além das baixas potências proporcionadas pela iluminação LED, adotaram-se também, como medida de redução de energia, a aplicação de dimerizadores contínuos de luz que trabalham em conjunto com a luz natural, controlando a potência de iluminação necessária para atingir um *setpoint* de luminância nos ambientes, adotado como 500 lux nesta simulação – nível este recomendado como aceitável pela NBR-5413. Ou seja, quanto maior a incidência de luz natural, menor a potência necessária nas luminárias.

Os cronogramas de operação de equipamentos foram montados conforme sugere a ASHRAE-User's Guide-90.1, e o período de ocupação foi fornecido pelos responsáveis do Campus Tramandaí, dados os horários de ocupação atuais que são entre às 8 h e às 18 h.

5.2. Envoltório

Para determinar se o envoltório da edificação deveria ser com baixa ou alta inércia térmica, fez-se uma análise das temperaturas de bulbo seco do local, as quais estão apresentadas na Figura 5.3 abaixo, com dados para as 8760 horas do ano, de acordo com o arquivo climático utilizado, disponibilizado pelo Labee – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da UFSC.

Como pode ser observado, dado o clima litorâneo, a temperatura permanece, na maioria das vezes, numa faixa de temperatura amena, entre 15°C e 24°C. Entretanto, têm-se numerosos picos de temperatura, tanto no verão, quanto no inverno. Sendo assim, a estratégia adotada foi a de projetar o envoltório com elevada inércia térmica, para que suportasse esses eventuais picos de temperatura no verão, e, no inverno contribuisse para a manutenção de uma temperatura interna elevada.

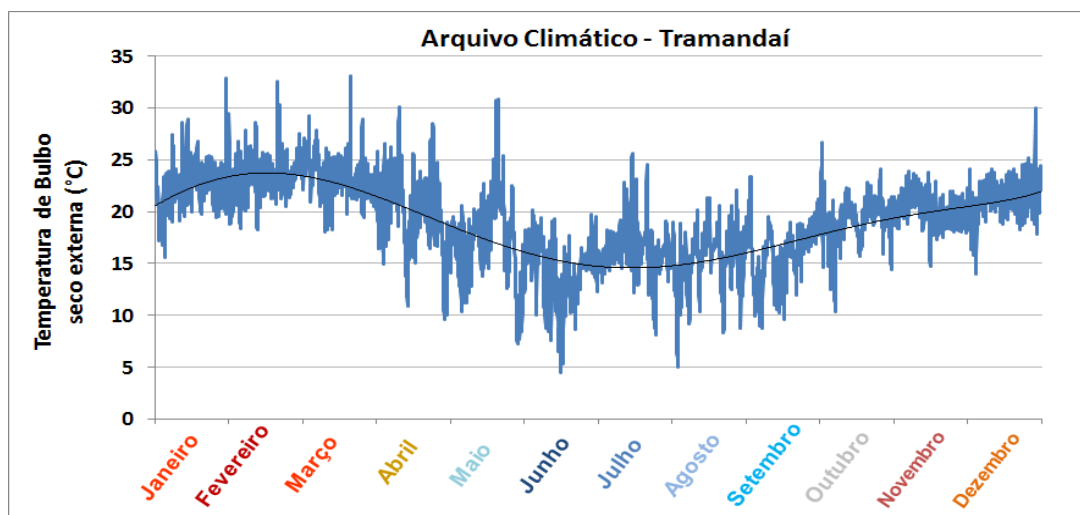


Figura 5.3 - Temperatura de bulbo seco externa anual para Tramandaí/RS

A determinação da área de vidro consistiu no fato de ser grande o suficiente para proporcionar a iluminação natural necessária para atingir os níveis de lux recomendados, reduzindo a necessidade de iluminação artificial, e que também permitisse o aquecimento passivo dos ambientes no inverno.

Além disso, o tamanho das aberturas é também responsável tanto por proporcionar a vazão necessária para o controle de temperatura, quanto pela renovação de ar.

Assim, dimensionaram-se as aberturas com proteções horizontais, por meio de brises externos, sacadas e do terraço, para que, dada a trajetória solar, tais proteções agissem como bloqueadores da radiação direta no verão, e no inverno permitissem o aquecimento passivo. A Figura 5.4 exemplifica essas situações de sombreamento para os dias de solstícios de verão e de inverno, ao meio-dia.

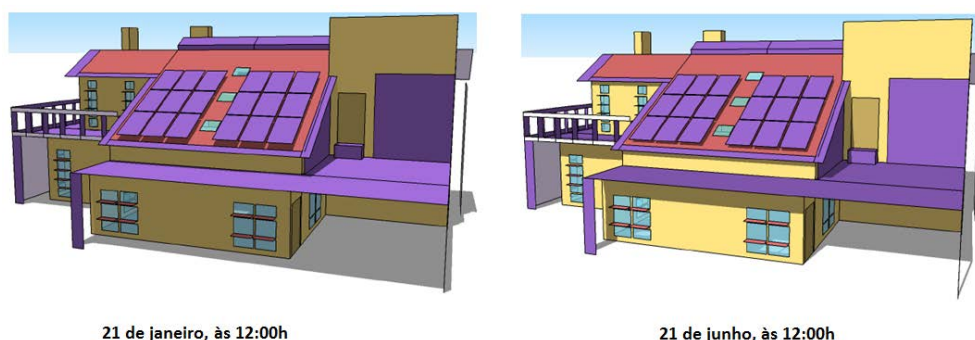


Figura 5.4 – Exemplos de proteções horizontais permitindo, no inverno, o aquecimento passivo dos ambientes e bloqueando, no verão, a radiação solar incidente.

Como os ambientes são destinados a salas de aula, com a presença de quadros-negros e projetores, atentou-se também ao fato de posicionar as aberturas nas fachadas norte próximas as extremidades da parede, ajudando a evitar ofuscamentos causados por possíveis manchas de sol nos ambiente de sala de aula, ou mezaninos. Cortinas externas embutidas à esquadria, resistentes a ventos de alta velocidade, também foram adicionadas, ajudando no controle do ofuscamento solar quando necessário, e contribuindo de forma semelhante aos brises, no entanto, também contribuindo no aumento da resistência a perda de calor à noite quando fechadas durante o inverno.

A seleção dos vidros foi determinada a partir de simulações onde variaram-se os fatores comerciais que caracterizam cada modelo de vidro existente no mercado, sendo eles: o SHGC (*Solar Heat Gain Coefficient*), representando a fração de entrada de calor no ambiente com

relação à radiação solar incidente; o VLT (*Visible Light Transmittance*), representando a fração da entrada de comprimentos de onda visíveis, e o Fator U, representando o coeficiente de transferência térmica global do corpo translúcido.

Quanto ao tipo da área de abertura, considerou-se o fato de que ela deveria ser capaz de satisfazer as três estratégias de ventilação adotadas para garantir temperaturas operativas de conforto, que foram: ventilação por vento, ventilação por efeito chaminé e o resfriamento noturno.

Para assegurar a ventilação por vento, fez-se uma análise do arquivo climático do local, para que as aberturas do prédio pudessem ser orientadas para o sentido de maior incidência de ventos, facilitando, na maior parte do tempo, a ventilação cruzada dos ambientes. A Figura 5.5 mostra a direção de incidência dos ventos com base nos dados do arquivo climático utilizado.

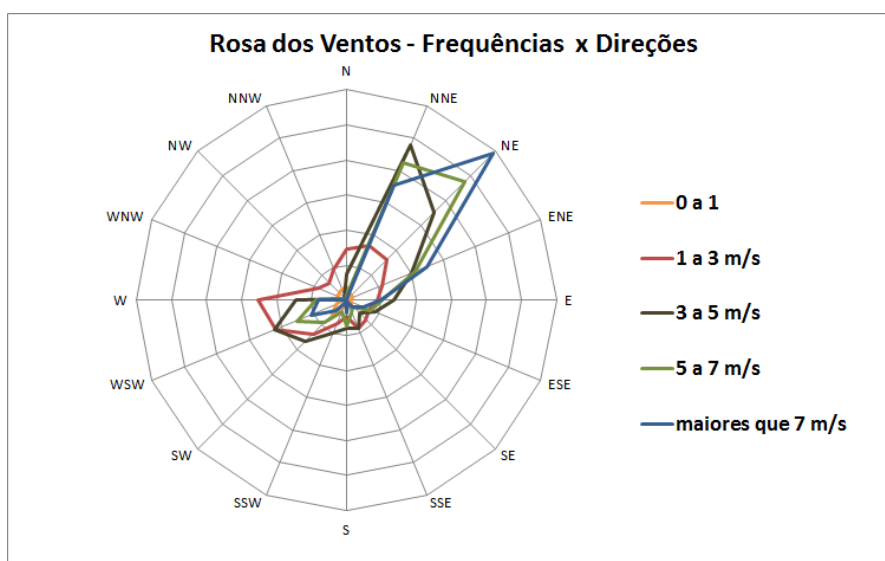


Figura 5.5 - Gráfico rosa dos ventos para Tramandaí/RS – Relação entre número de ocorrência, velocidades e direções.

Como pode ser observado, a predominância de ventos é na direção Nordeste, sendo seguido da direção Norte-Nordeste.

A ventilação por vento foi alcançada, portanto, orientando a maior parte das aberturas para tais direções de incidência, com saídas nas direções opostas, obtendo a ventilação cruzada. Contudo, nas demais direções, também projetaram-se aberturas, contemplando toda direção de incidência dos ventos na edificação.

Considerando os dias em que não há presença de vento, ou que há sob a condição de baixas velocidades, a geometria do prédio foi desenvolvida para que facilitasse o efeito chaminé, garantindo que, as diferenças de temperatura interna e externa pudessem proporcionar a convecção natural, dadas as diferenças de pressão. Com isso, posicionaram-se aberturas inferiores próximas ao solo, e saídas no topo da edificação, na cumeeira, intensificando, assim, o efeito chaminé, dado que conforme a Equação 4.1, quanto maior a diferença de altura entre essas aberturas, maiores as diferenças de pressão e, consequentemente, a ventilação.

Para o caso dos ambientes inferiores, Salas de aula 1 e 2, onde a geometria originalmente não facilitaria essa ventilação, pois o forro dos ambientes é plano devido aos mezaninos localizados sobre eles, chaminés térmicas foram projetadas, permitindo esse tipo de ventilação.

Por fim, uma vez que o prédio será projetado com elevada inércia térmica, adotou-se a medida do resfriamento noturno, em que janelas basculantes foram desenvolvidas para ficarem abertas à noite em épocas de elevada temperatura externa durante os horário de ocupação – entre 08 h e 18 h. Com isso, tem-se um resfriamento do prédio, retirando à noite o calor

absorvido ao longo do dia pelas estruturas do prédio. A geometria dessas basculantes foi dimensionada de modo que ficasse impossibilitada a passagem de uma pessoa ou animal, atentando-se aos riscos envolvidos em deixá-las abertas à noite.

Referente à renovação de ar, as basculantes superiores foram projetadas para exercerem essa função no inverno. Dada a altura da sua abertura com relação ao piso, reduz-se o desconforto causado pela entrada de ar frio no inverno, uma vez que se situa acima do plano de ocupação. Esse desconforto é denominado pela ASHRAE Standard 55-2010 como *Draft*, onde os ocupantes se sentem desconfortáveis seja pela alta velocidade, seja pela sensação de frio causado pelo vento. Para o dimensionamento, considerou-se que o somatório das áreas de tais basculantes deveria totalizar, no mínimo, os 4% da área de piso de cada ambiente, conforme requerido pela norma ASHRAE-Standard 62.1 2010. Por fim, a abertura intermediária das janelas é designada para a ventilação cruzada, durante os horário de ocupação.

Toda a parte da ventilação foi simulada via objeto *airflownetwork*, onde os coeficientes de infiltração para as janelas foram retirados de Liddament, 1986, e os dados para os coeficientes de pressão do vento utilizados foram obtidos a partir da equação de Swami e Chandra, 1988, obtida experimentalmente e destinada para edificações de pequeno porte.

5.3. Painéis Fotovoltaicos

Selecionaram-se 18 módulos de 255 W da fabricante Yingli Solar, modelo YGE de 60 células, cujo *data sheet* está contida nos anexos. A estimativa de produção de energia solar foi realizada com o método simplificado no *software EnergyPlus*, em que a capacidade de conversão de energia se dá por meio da eficiência constante ao longo da operação dos painéis; eficiência esta estimada a partir de dados disponibilizados pelo fabricante para temperatura de operação de 25°C.

Os painéis fotovoltaicos foram posicionados sobre a cobertura do ambiente Térreo, voltado para o Norte, onde a inclinação da cobertura foi projetada para ser a mesma da latitude de Tramandaí (30°), garantindo assim que nos períodos do ano de maior intensidade de radiação incidente nos painéis, eles estivessem com ângulo de incidência muito baixo. Atentou-se também para que nenhuma parte da edificação, ou que edificações vizinhas pudessem fazer sombreamento durante o período da janela solar.

Para se estimar a viabilidade da edificação NZEB, utilizou-se do *Net Metering*, em que a produção de energia via painel fotovoltaico inferior nos meses de inverno pode ser compensada pelo excedente produzido durante o verão, frente ao consumo do prédio. A Figura 5.6 apresenta como o programa realiza este controle, em que um inversor de corrente contínua para corrente alternada atende as demandas da edificação quando necessário, injetando o excedente na rede elétrica de distribuição.

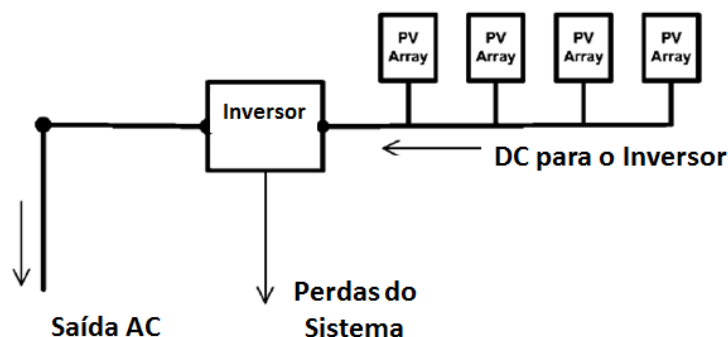


Figura 5.6 – Representação do sistema *Net Metering* aplicável à estimativa de produção dos painéis fotovoltaicos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A constituição final que melhor resultou da combinação entre as estratégias de ventilação e configurações de envoltória apresentou os resultados sumarizados na Tabela 6.1 abaixo e também estão apresentados nos Apêndice III, nas Figuras de I.C até I.H.

Tabela 6.1. – Relação de horas de desconforto para os ambientes regularmente ocupados.

Horas de Desconforto Anuais (h)	Sala de Aula 1	Sala de Aula 2	Térreo	Mezanino A	Mezanino B	Mezanino C	Total
FRIO	40	38	19	66	65	62	290
CALOR			5				5

Os resultados apontam para uma configuração onde o envoltório foi uma parede com carreira dupla de tijolos, que concederam a inércia térmica necessária, aliado a um revestimento externo de poliuretano, servindo como isolante térmico.

O total de horas de desconforto somam 295 h, abaixo do limite aceitável de 350 h considerado por norma. As horas de desconforto apresentadas nas Figuras de I.C até I.H. ocorrem, majoritariamente, em período de picos de temperatura ocorridos em Abril e Outubro. Isso se deve ao problema de controle sobre a abertura e fechamento das janelas com o objeto *Airflownetwork*, em que em tais dias, aliado às baixas temperaturas, a vazão mássica de ar dentro das zonas é elevada, causando essa diminuição nas temperaturas operativas.

As configurações de vidro variaram por fachadas, onde a fachada leste, dada a grande insolação durante o verão, mostrou ser necessário um SGHC de 30%. Dadas as pequenas áreas de vidro no sul, sem exposição à radiação solar direta, um SHGC de 50% foi suficiente para permitir a entrada de calor necessária para aquecer os ambientes no inverno, sendo também eficiente em barrar a entrar de calor em demasia no verão. Quanto à fachada norte, um SHGC com fator de 40% se mostrou como a melhor opção, um pouco menor que o da fachada sul devido à maior insolação da fachada norte. Diante dessas configurações de SHGC, selecionaram-se vidros existentes no mercado com altos valores de VLT, permitindo assim maior iluminação natural nos ambientes, reduzindo o uso das luminárias.

A Figura 6.1 apresenta a porcentagem de horas em que os ambientes não necessitam de iluminação artificial para dois níveis de iluminação, sendo retirada a partir de simulações de iluminação natural realizadas no *software Diva*.

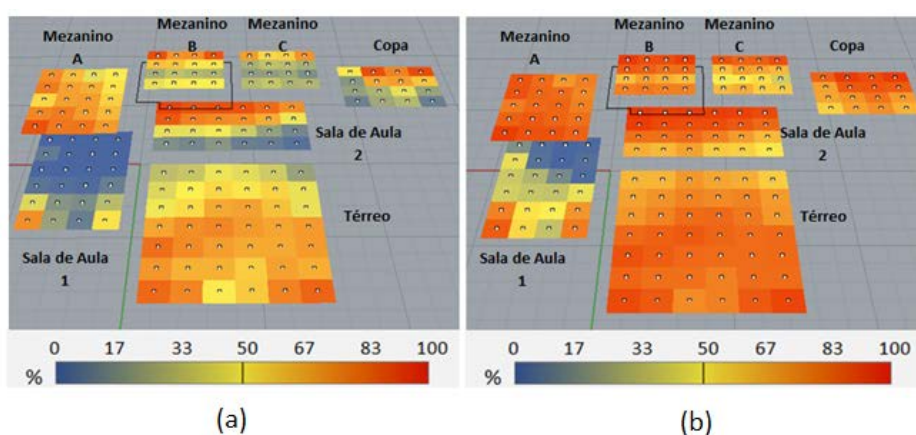


Figura 6.1 – Autonomia de Iluminação Natural para níveis de (a) – 500 lux, e (b) 300 lux.

Para níveis de 500 lux, os ambientes Térreo e Mezaninos A, B e C demonstram que não existe a necessidade de luz artificial para 50% do tempo, pois atingem níveis de iluminância de

500 lux apenas com a luz natural. Para os 50% do tempo restante, os dimerizadores irão operar para suprir tal déficit de iluminação, que, como pode ser observado na Figura 6.(b), não baixa muitas vezes de níveis de 300 lux, sendo, portanto, sua operação reduzida.

Referente ao consumo anual desta edificação, a Figura 6.2 mostra o balanço mensal de consumo ao longo do ano. Nota-se que, com a escolha de equipamentos com alto desempenho e baixo consumo energético, aliada ao trabalho conjunto das lâmpadas LED com baixa potência de iluminação e o uso de dimerizadores, resultaram em um consumo energético mensal baixo. Com isso, a estimativa para produção anual gerada pelos painéis fotovoltaicos se demonstra com potencial de suprir a demanda energética na maioria dos meses do ano. Fazendo-se o balanço anual, tem-se um balanço líquido de 1200 kW·h.

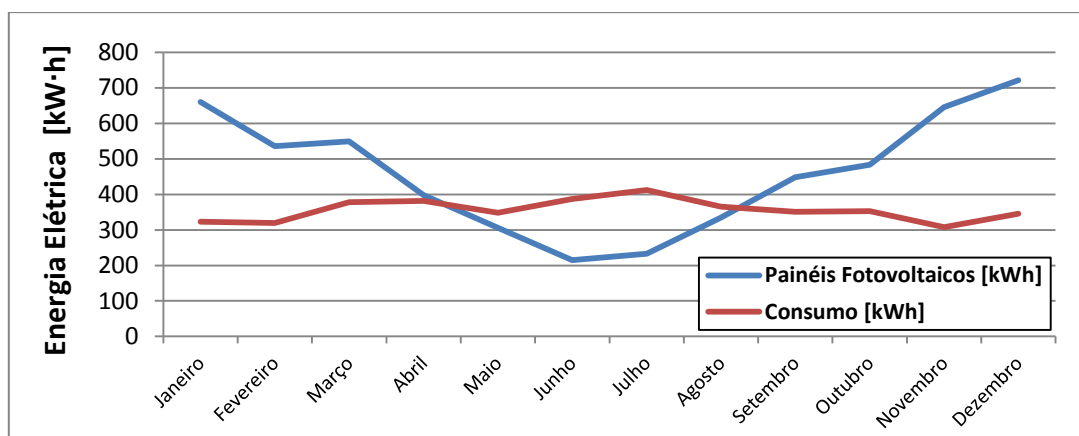


Figura 6.2 – Gráfico de consumo e produção fotovoltaico ao longo do ano

Já para a configuração de grandes eventos, simulou-se uma semana para todos os meses do ano, tentando representar assim uma semana inteira em que o *Campus* de Tramandaí comportasse grandes eventos. A Figura 6.3 apresenta o gráfico de conforto para esse cenário.

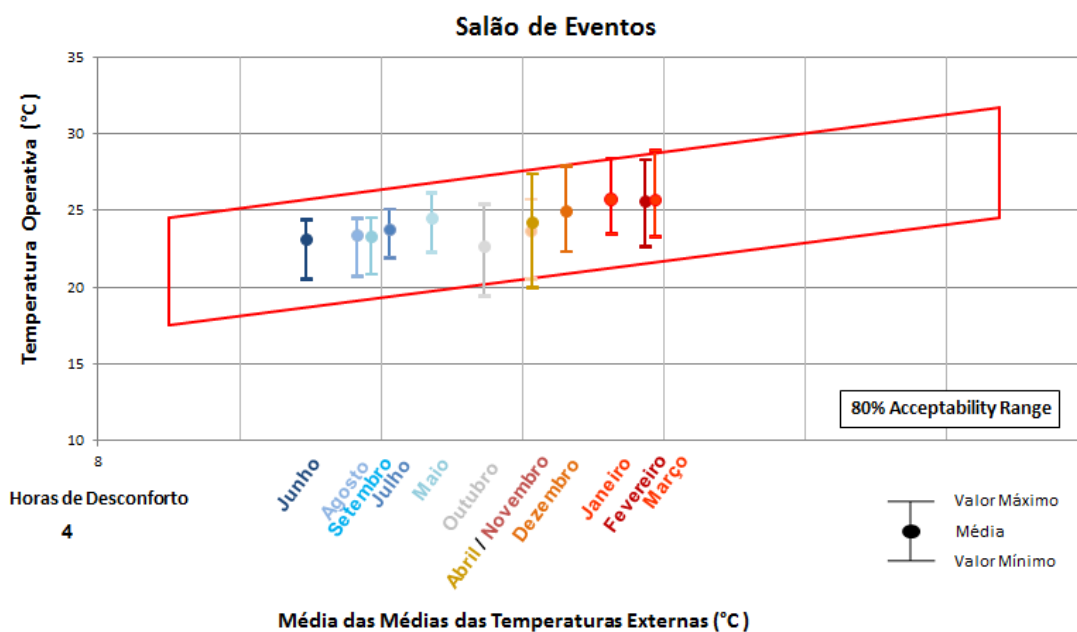


Figura 6.3 – Horas de desconforto para o salão integrado.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi feito o projeto e simulação via *software EnergyPlus* de uma edificação da UFRGS a ser construída em Tramandaí, analisando seu desempenho térmico por meio das horas de desconforto para os horários de ocupação, assim como a estimativa de consumo anual englobando equipamentos e iluminação.

A simulação para operação anual resultou num total de 295 horas de desconforto, em que a inércia térmica propiciada pela dupla de tijolos se mostrou eficaz para suportar os picos de temperatura no verão e inverno.

Os vidros selecionados possuem comportamentos seletivos para diferentes comprimentos de onda, barrando grande parte da radiação solar direta e, ao mesmo tempo, permitindo a passagem de luz natural necessária para que não haja consumo excessivo de luz artificial. Na fachada sul, o fator SHGC do vidro foi de 50%, superior as demais fachadas, uma vez que se fez necessário para atingir as temperaturas agradáveis no inverno.

O formato esbelto das janelas, em conjunto com a geometria e envoltório da edificação, permitiu o funcionamento das três estratégias de ventilação projetadas, mantendo as temperaturas operativas muito estáveis ao longo ano, conforme a indicação de temperaturas médias nas figuras I-C até I-H nos apêndices. Entretanto, a presença da chapa perfurada na fachada leste, que tinha a função de fazer o bloqueio da radiação incidente, reduzindo as temperaturas internas nessas zonas e diminuindo o ofuscamento para o ambiente de sala de aula, contribuiu também para uma baixa autonomia de luz natural para níveis de 500 lux.

Por fim, os equipamentos escolhidos de baixo consumo e o uso de dimerizadores resultaram em um consumo anual reduzido. A estimativa de produção anual propiciada pelos painéis fotovoltaicos conseguiu superar em um balanço anual de energia, apontando que existe a possibilidade da edificação se tornar NZEB.

Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se que sejam feitas simulações de dinâmica dos fluídos para análise do comportamento do escoamento de ar interno e externamente à edificação, para assim, melhor determinar a posição das aberturas, posição das chaminés térmicas e correta geometria da cumeeira.

Sugere-se, também, que seja feito um estudo do chamado "*mixed-mode*", onde ventilação natural e condicionamento de ar trabalham em conjunto, sendo o sistema de ar condicionado operado somente para horários que a ventilação natural não se demonstra eficaz. Esse caso seria aplicável ao presente trabalho caso os ocupantes não pudessem ajustar seu nível de vestimenta, usando roupas sociais inclusive no verão.

Os resultados obtidos para o produção pelos painéis fotovoltaicos são apenas estimativas, resultado de um cálculo simplificado utilizado para analisar a viabilidade. Por isso, sugere-se que um estudo mais aprofundado para dimensionamento deste sistema, ou até mesmo um estudo para viabilidade via Energia Eólica, haja visto que a velocidade de ventos em Tramandaí é elevada, favorecendo este ramo de energia renovável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. "**Standard 55 – Thermal Environment Conditions for Human Occupancy**". American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, SI Edition. EUA. 2004.

ASHRAE. "**Standard 62.1 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**". American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, SI Edition. EUA. 2007.

ASHRAE. “**Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings**”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, SI Edition. EUA. 2010.

ASHRAE. “**ASHRAE - Fundamentals Handbook**”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, SI Edition. EUA. 2009.

BEYER, P.O. “**Apostila de Conforto Térmico**”. DEMEC/UFRGS . Paulo Otto Beyer, 2014.

ASHRAE. “**90.1 – User’s Manual**”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, SI Edition. EUA. 2004.

ENERGYPLUS DOCUMENTATION. “**EnergyPlus Engineering Reference**”, U.S. Department of Energy, 2013.

LABEE <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw> Acessado em 09/15/2015

LIDDAMENT, M. “**Air Infiltration Calculation Techniques – An Applications Guide**”. Bracknell, Berkshire. 1986.

NEVES, L. & RORIZ, M. “**Procedimentos estimativos do potencial de uso de chaminés solares para promover a ventilação natural em edificações de baixa altura.**” Ambient. constr. [on-line]. 2012, vol.12, n.1, pp. 177-192.

NBR 5413. “**Iluminação de Interiores**” . Rio de Janeiro, 1992

PAPST, A.L. “**USO DE INÉRCIA TÉRMICA NO CLIMA SUBTROPICAL – ESTUDO DE CASO EM FLORIANÓPOLIS**”. Dissertação de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

SEYBOTH, M. “**Simulação de Temperaturas Internas Devido à Vazão de Ventilação por Efeito de Vento.**” Trabalho de Conclusão de Curso – DEMEC/UFRGS, 2015

SWAMI, M. V. and S. CHANDRA. 1988. “**Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow**”. ASHRAE Transactions 94 (1988) (Pt 1), pp. 243-266

TORRES, R. “**Projeto de um Prédio de Energia Líquida Zero(PELZ) com Foco nos Sistemas.**” Trabalho de Conclusão de Curso – DEMEC/UFRGS, 2011

WALTON, G. N. 1989. “**AIRNET – A Computer Program for Building Airflow Network Modeling,**” NISTIR 89-4072, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

APÊNDICES

Apêndice I

Abaixo, na Figura I.A., tem-se uma vista aérea do Campus UFRGS em Tramandaí, com local destinado a construção delimitado pelo quadrado branco.



Figura I.A – Vista Aérea do Campus UFRGS situado em Tramandaí com local estimado da construção.

Na Figura I.B tem-se o modelo geométrico feito no software *Google Sketchup*. Na Figura, superfícies de cor roxa representam sombreamentos, sacadas ou os painéis solares e azuis os vidros.

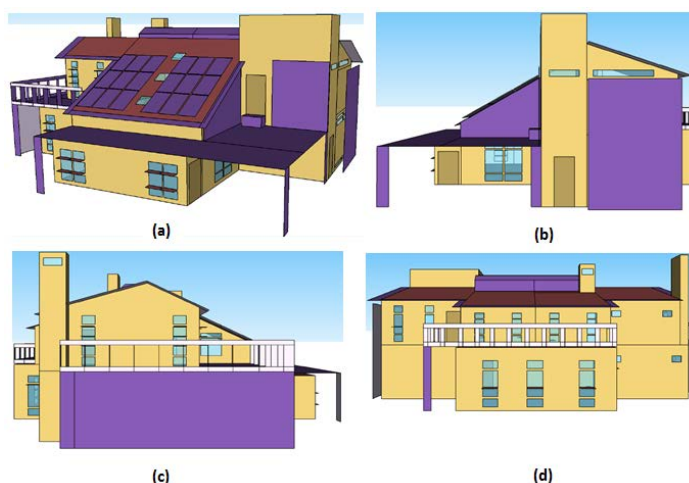


Figura I.B – Em (a), edificação em perspectiva; (b) Fachada Oeste; (c) Fachada Leste; (d) Fachada Sul

Apêndice II – Parâmetros de Simulação

Envoltório						
Paredes Externas	Reboco	Poliuretano	Tijolo	Tijolo	Reboco	
Paredes Internas	Reboco	Tijolo	Reboco	/	Isórias Rotuladas	
Cobertura	Concreto	Isolamento de ar	Poliuretano	Acoustic Tile		
Configuração Vidros						
Fachada Leste	skn	Ar 13 mm	Clear 3mm			
Fachada Oeste	skn	Ar 13 mm	Clear 3mm			
Fachada Norte	Cool Lite 174	Ar 13 mm	Clear 3mm			
Fachada Sul	Cool Lite 164	Ar 13 mm	Clear 3mm			
Cargas Internas						
	Mezanino A	Mezanino B	Mezanino C	Térreo	Sala de Aula 1	Sala de Aula 2
Potência Equipamentos	166 W	166 W	270 W	11 W/m ²	200 W	200 W
Iluminação	5 W/m ²	5 W/m ²	5 W/m ²	5 W/m ²	5 W/m ²	5 W/m ²
Pessoas	5	5	7	76	26	26

Apêndice III

As figuras de I.C. até I.H apresentam, à esquerda a região de conforto adaptivo, conforme ASHRAE Standard 55 - 2004.

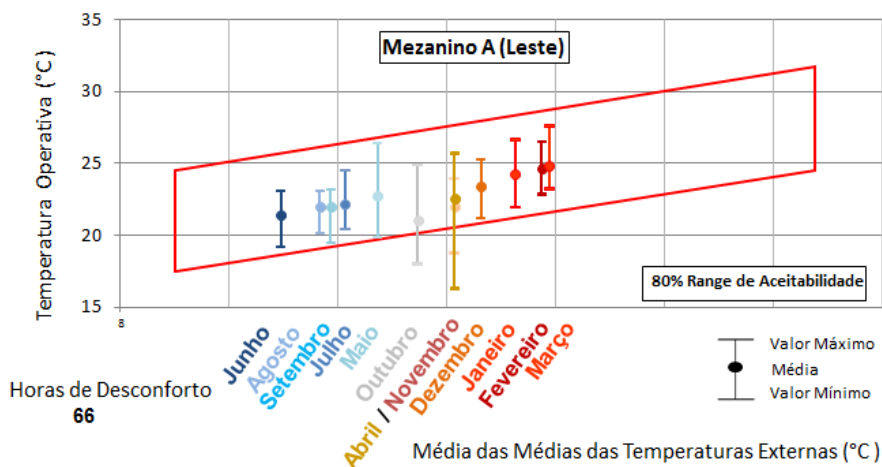


Figura I.C – Região de conforto para o ambiente Mezanino A.

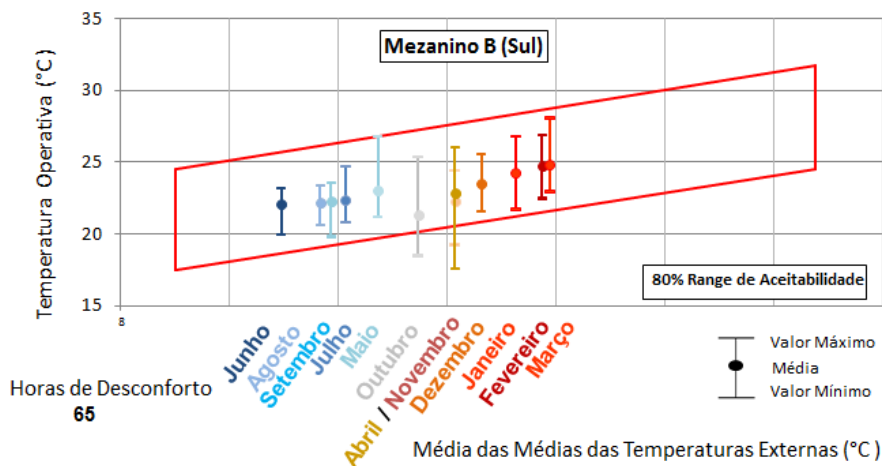


Figura I.D – Região de conforto para o ambiente Mezanino B.

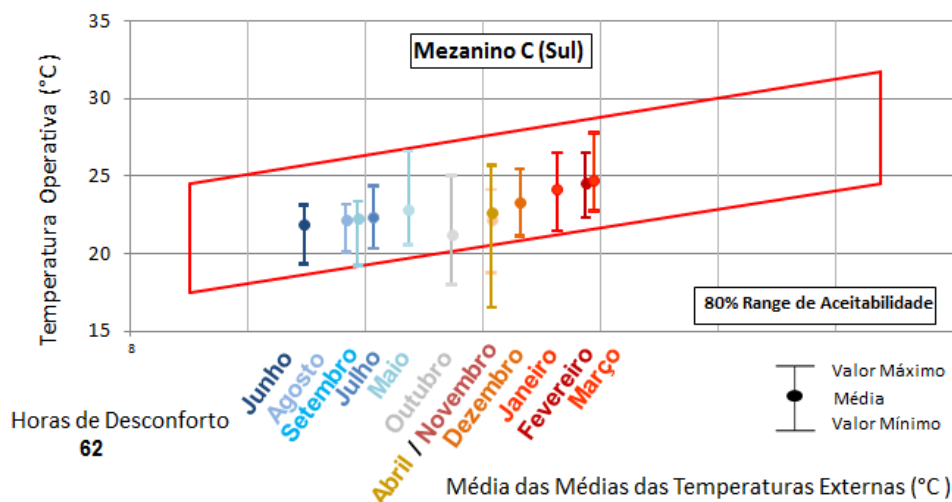


Figura I.E – Região de conforto para o ambiente Mezanino C

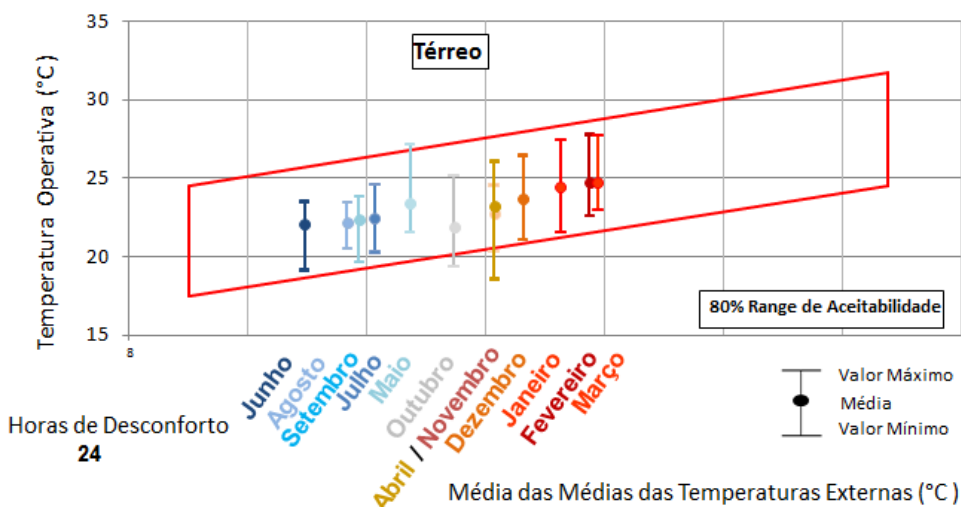


Figura I.F – Região de conforto para o ambiente Térreo

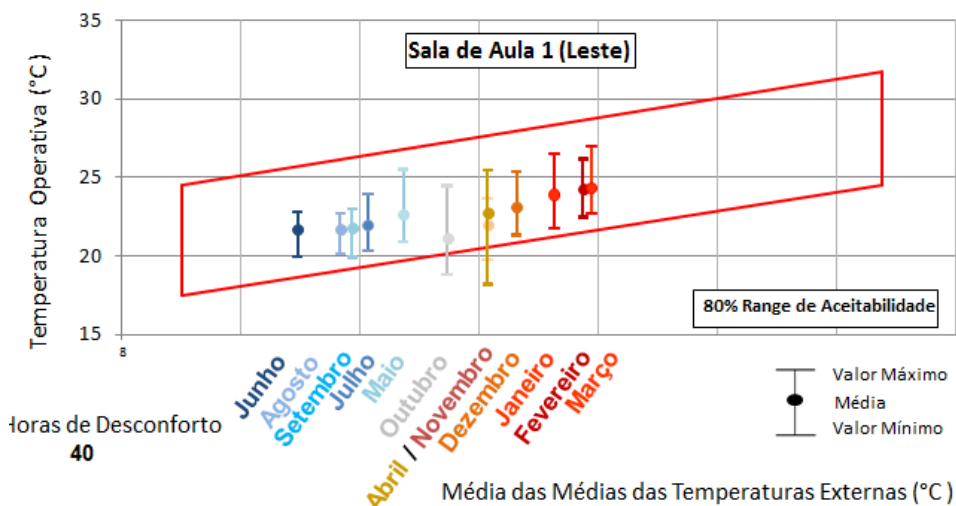


Figura I.G – Região de conforto para o ambiente Sala de Aula 1

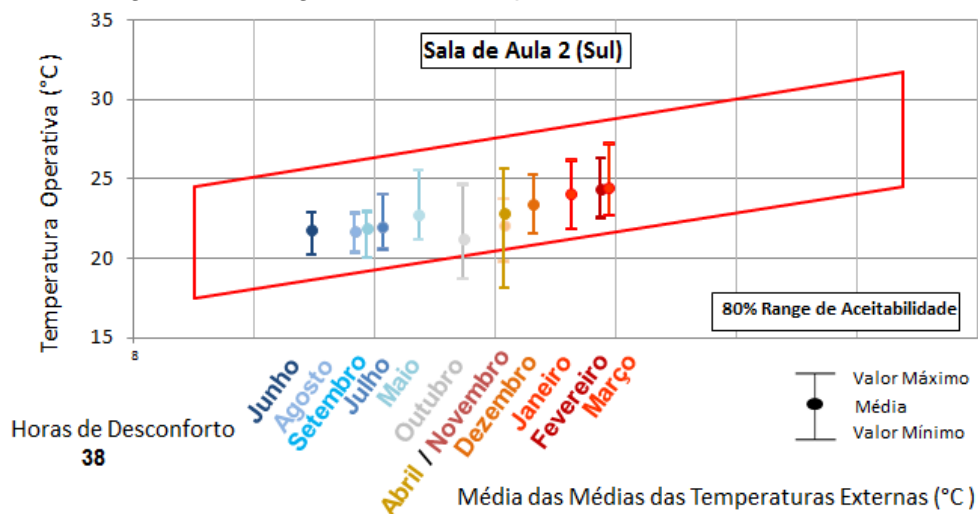
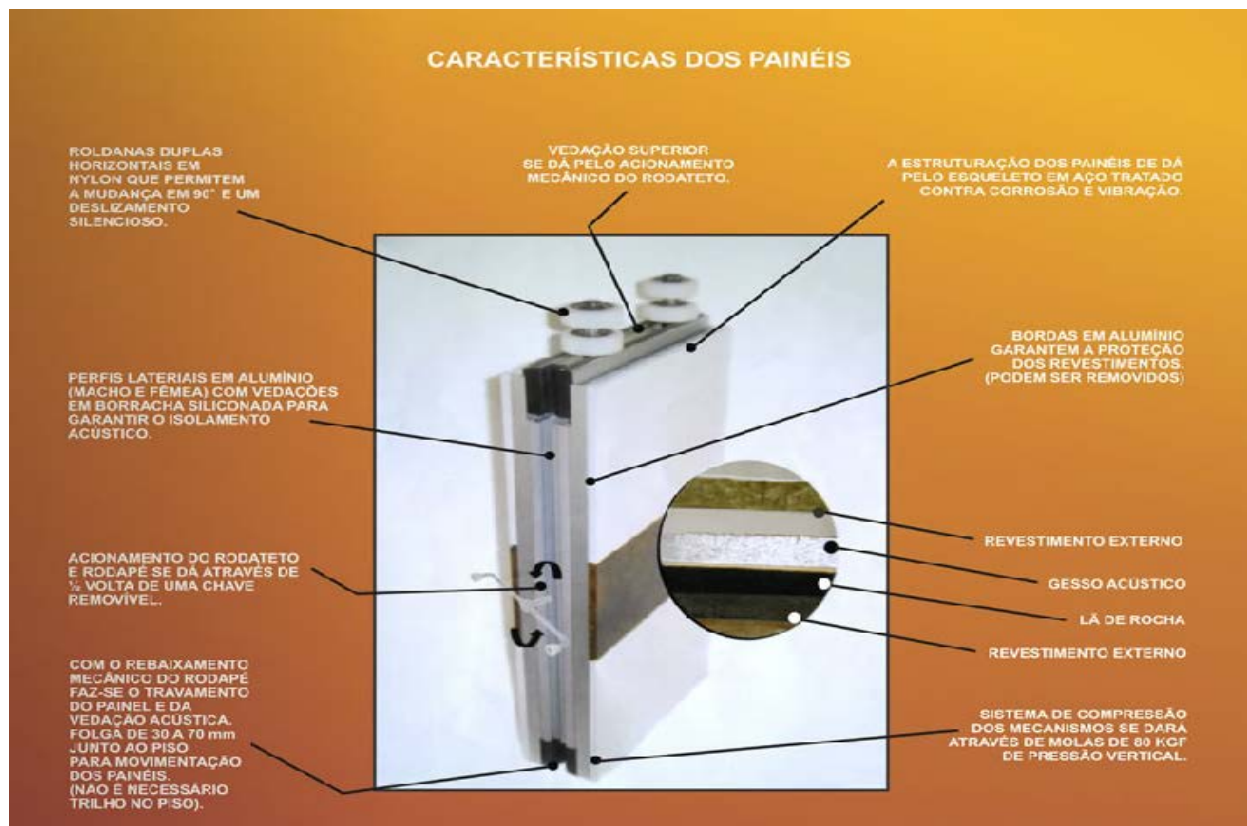


Figura I.H - Região de conforto para o ambiente Sala de Aula 2

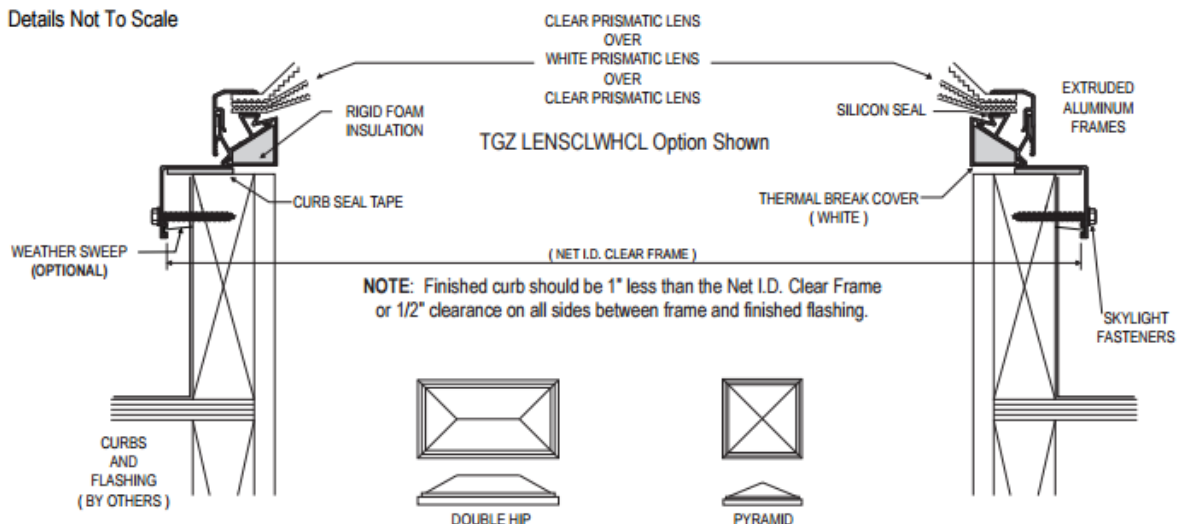
ANEXOS



Especificação das Divisórias Rotuladas Simuladas.

PRODUCT PROFILE

Details Not To Scale



Especificação dos Azimutais Seleccionados para o Têrreo – Modelo Sunoptics ID 2020

YGE 60 CÉLULAS SÉRIE 2

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Parâmetros Elétricos para STC

Tipo de módulo	YLxxxP-29b (xxx=P _{nom})						
Potência de saída	P _{nom}	W	260	255	250	245	240
Tolerância	ΔP _{nom}	W	0 / +5				
Eficiência do módulo	η _L	%	16,0	15,7	15,4	15,1	14,8
Tensão em P _{nom}	V _{mp}	V	30,3	30,0	29,8	29,6	29,3
Intensidade em P _{nom}	I _{mp}	A	8,59	8,49	8,39	8,28	8,18
Tensão em circuito aberto	V _{oc}	V	37,7	37,7	37,6	37,5	37,5
Corrente de curto-circuito	I _{sc}	A	9,09	9,01	8,92	8,83	8,75

STC: 1000 W/m² irradiância, temperatura do módulo de 25 °C, AM1.5 distribuição espectral de acordo com a norma EN 60904-3. Redução média de 3,3% de eficiência relativa de 200 W/m² de acordo com EN 60904-1.

Parâmetros Elétricos em Temperatura de Operação (NOCT)

Potência de saída	P _{nom}	W	189,7	186,0	182,4	178,7	175,1
Tensão em P _{nom}	V _{mp}	V	27,6	27,4	27,2	27,0	26,8
Corrente em P _{nom}	I _{mp}	A	6,87	6,79	6,71	6,62	6,54
Tensão em circuito aberto	V _{oc}	V	34,8	34,8	34,7	34,6	34,6
Corrente de curto-circuito	I _{sc}	A	7,35	7,28	7,21	7,14	7,07

NOCT: operação do módulo em condições de circuito aberto com irradiância de 800 W/m² e temperatura ambiente de 20 °C e de velocidade de vento de 1 m/s.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Temperatura nominal da célula	NOCT	°C	46 +/- 2
Coefficiente de temperatura para P _{nom}	γ	%/°C	-0,42
Coefficiente de temperatura para V _{oc}	β _{Voc}	%/°C	-0,32
Coefficiente de temperatura para I _{sc}	α _{Isc}	%/°C	0,05
Coefficiente de temperatura para V _{mp}	β _{Vmp}	%/°C	-0,42

CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

Tensão máxima do sistema	1000V _{DC}
Valor máximo do fusível em série	15A
Limitação da corrente inversa	15A
Faixa de temperatura em funcionamento	-40°C to 85°C
Carga estática máxima frontal (neve)	5400Pa
Carga estática máxima inversa (vento)	2400Pa
Máximo impacto por granizo (diâmetro/velocidade)	25mm / 23m/s

MATERIAIS

Proteção frontal (material / espessura)	O vidro temperado contém baixo teor de ferro / 3.2 mm
Célula solar (número / tipo / tamanho / número de busbar)	60 / Silício Multicristalino / 156mm x 156mm / 2 ou 3
Quadro (material / cor / anodização / bordas de vedação)	Alumínio anodizado / prata / claro / adesivo
Caixa de junção (grau de proteção)	≥ IP65
Cabo de ligação (comprimento / seção) (tipo / grau de proteção)	1000mm / 4mm ²
Conector (tipo/grau de proteção)	MC4 / IP67 ou YT 08-1 / IP67 ou Amphenol H4 / IP68

- Devido a contínua inovação, pesquisa e melhoria de produto, informações e especificações citadas nesta ficha técnica estão sujeitos a alterações sem aviso prévio. As especificações podem ser ligeiramente diferentes e não estão garantidas.
- Os dados não se referem a um único módulo e não faz parte da oferta, servem para comparação entre diferentes tipos de módulos.

QUALIFICAÇÕES E CERTIFICADOS

IEC 61215, IEC 61730, CE, NRE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, PV Cycle, SA 8000



© Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.

DS_YGE60Cell-29b_35mm_BR_2015_May_YBS

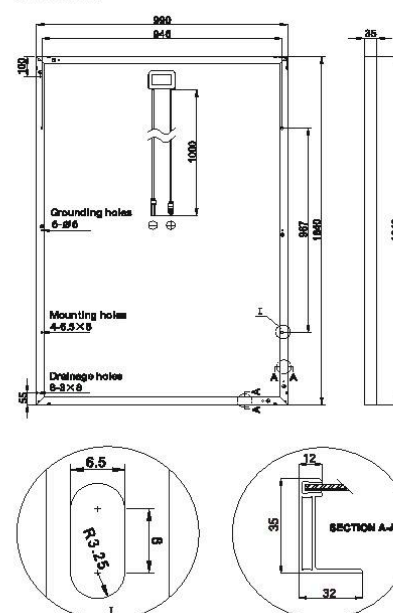
CARACTERÍSTICAS GERAIS

Dimensões (C / L / A)	1640mm / 990mm / 35mm
Peso	18.5kg

ESPECIFICAÇÕES DA EMBALAGEM

Número de módulos por palete	29
Número de paletes por container	28
Dimensões da embalagem (C / L / A)	1700mm / 1135mm / 1165mm
Peso do palete	568kg

Unidade: mm



Aviso: Leia o Manual de Instalação e de Operação em sua totalidade antes de utilizar, instalar e operar módulos Yingli Solar.

Parceiros da Yingli Solar:



Yingli Green Energy do Brasil, S.A.

brazil@yingliamericas.com

Tel: +55-11-4561-6457

YINGLISOLAR.COM



DataSheet do módulo fotovoltaico selecionado; módulo de 255 W e eficiência de 15.7%.