

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UM GRUPO DE SALAS COMERCIAIS
COM DIFERENTES POSICIONAMENTOS

por

Wesley do Nascimento Guareschi

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 2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

do Nascimento Guareschi, Wesley
ESTUDO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UM GRUPO DE SALAS
COMERCIAIS COM DIFERENTES POSICIONAMENTOS / Wesley do
Nascimento Guareschi. -- 2021.

26 f.

Orientadora: Leticia Jenisch Rodrigues.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2021.

1. Eficiência Energética. 2. Orientação Solar. 3.
Climatização. 4. EnergyPlus. I. Jenisch Rodrigues,
Leticia, orient. II. Título.

Wesley do Nascimento Guareschi

ESTUDO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UM GRUPO DE SALAS COMERCIAIS
COM DIFERENTES POSICIONAMENTOS

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
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof^a. Letícia Jenisch Rodrigues

Comissão de Avaliação:

Prof./Prof^a. Diogo Elias da Vinha Andrade

Prof./Prof^a. Alexandre Vagtinski de Paula

Prof./Prof^a. Paulo Smith Schneider

Porto Alegre, novembro de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o suporte que obtive, não somente durante a faculdade, mas durante toda minha vida.

Agradeço a todas amizades que fiz ao longo da graduação, tornando a mesma mais leve e prazerosa.

E por fim agradeço a minha namorada por todo o apoio ao longo desta jornada que estamos passando. A toda força que ela me deu.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – 2021

ESTUDO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UM GRUPO DE SALAS
COMERCIAIS COM DIFERENTES POSICIONAMENTOS

Guareschi, Wesley do Nascimento

wesley.guareschi@ufrgs.br

Resumo. O Brasil, assim como o mundo, vem passando por constantes crises energéticas, devido à falta de chuvas. Sendo cerca de 50% do consumo energético das edificações devido a climatização de ambientes, este deve ser um fator crucial a ser analisado no projeto de uma construção, visando um menor consumo. Ao mesmo tempo o ambiente deve proporcionar a seus ocupantes conforto térmico. Assim este trabalho propõe analisar a influência do posicionamento de um conjunto de salas comerciais, localizada em Porto Alegre, no consumo energético do sistema de climatização. Para tal análise é utilizado o software EnergyPlus, e é verificado para quatro rotações diferentes o comportamento ao longo do dia do sistema de climatização, assim como o consumo energético total ao longo de um ano. Os resultados mostram que as janelas apontadas para o Norte, no inverno, acabam necessitando de menor potência do sistema de climatização, pois assim incide mais radiação solar ao longo do dia. No verão o melhor posicionamento é encontrado com as janelas apontadas ao Oeste, pois desta forma incide menos radiação solar nos ambientes. Ao longo de todo o ano, o menor consumo acaba sendo quando as janelas estão apontadas para o Oeste, devido ao sistema de climatização ser mais necessitado ao longo do verão.

Palavras-chave: EnergyPlus, Consumo energético, Orientação Solar, AVAC.

**STUDY OF ENERGY CONSUMPTION OF A GROUP OF COMMERCIAL ROOMS
WITH DIFFERENT POSITIONING**

Abstract. Brazil, like the world, has been going through constant energy crises, due to the lack of rain. With about 50% of the energy consumption of buildings due to air conditioning, this should be a crucial factor to be analyzed in the design of a building, military a lower consumption. At the same time, the environment must provide its occupants with thermal comfort. Thus, this work ponders the analysis of the positioning of a set of commercial rooms, located in Porto Alegre, in the energy consumption of the HVAC system. For this analysis, the EnergyPlus software is used, and the behavior of the air conditioning system throughout the day is verified for four different rotations, as well as the total energy consumption over a year. The results show that windows pointing to the North, in winter, end up needing less power from the HVAC system, as more solar radiation occurs throughout the day. In summer, the best positioning is found with the windows pointing to the West, as this way there is less solar radiation in the environments. Throughout the year, the lowest consumption ends up being when the windows are pointed to the West, due to the climate control system being more necessary during the summer.

Keywords: EnergyPlus, Energy consumption, Solar Orientation, HVAC.

NOMENCLATURA

Símbolos

\dot{Q}	Carga térmica	[W]
h	Coeficiente de transferência de calor por convecção	[W/m ² K]
A	Área	[m ²]
T	Temperatura	[K]
\dot{m}	Vazão mássica	[kg/s]
C_p	Calor específico	[J/kgK]
$C_z \frac{dT_z}{dt}$	Taxa de energia armazenada na zona térmica	[W]
q''	Fluxo de calor	[W/m ²]
X	Coeficiente exterior da CTF	[Adim.]
Y	Coeficiente cruzado da CTF	[Adim.]
Z	Coeficiente interior da CTF	[Adim.]

Símbolos gregos

Φ	Coeficiente de fluxo CTF	[Adim.]
γ	Fração Radiante	[Adim.]

Abreviaturas e acrônimos

ECEN	Economia & Energia
DOE	<i>Department of Energy</i>
BLAST	<i>Building Loads Analysis and System Thermodynamics</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira
CTF	<i>Conduction Transfer Functions</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
1.2	OBJETIVO	2
2.	FUNDAMENTAÇÃO.....	2
2.1	ENERGYPLUS	2
2.1.1	CONDUÇÃO DE CALOR ATRAVÉS DE SUPERFÍCIES	3
2.1.2	BALANÇO DE ENERGIA EM SUPERFÍCIES EXTERNAS	4
2.1.3	BALANÇO DE ENERGIA EM SUPERFÍCIES INTERNAS	4
2.2	ARQUIVO CLIMÁTICO.....	4
2.3	CONFORTO TÉRMICO.....	5
2.4	TEMPERATURA OPERATIVA	5
3.	METODOLOGIA	5
3.1	DIMENSIONAMENTO.....	6
3.2	MATERIAIS CONSTRUTIVOS	6
3.3	CARGAS TÉRMICAS INTERNAS	6
3.3.1	PESSOAS.....	6
3.3.2	ILUMINAÇÃO	6
3.3.3	EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	7
3.4	AVAC.....	7
3.5	ROTAÇÕES DA EDIFICAÇÃO	8
4	RESULTADOS.....	9
4.1	DIA TÍPICO DE INVERNO.....	9
4.2	DIA TÍPICO DE VERÃO	11
4.3	RESULTADO ANUAL	13
5.	CONCLUSÃO.....	13
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
	ANEXOS.....	16
	ANEXO A – PROPRIEDADES TÉRMICAS E CÓDIGOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS	16
	ANEXO B – TEMPERATURA OPERATIVA E TAXA DE UMIDADE PARA ATENDER CONFORTO TÉRMICO.....	18
	APÊNDICE	18
	APÊNDICE A – CARGA HORÁRIA DE PESSOAS, ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	18

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais o consumo de energia nas edificações do Brasil e do mundo vem se mostrando uma variável a ser considerada em nossa sociedade, seja pelos cidadãos e empresas, ao querer diminuir suas faturas de energia, conseqüentemente despendo menos recursos financeiros, como pelo governo, visando evitar colapsos no sistema elétrico e racionamentos. Em 2001, o Brasil passou por uma estiagem sem precedentes para os registros de chuva, afetando a geração de energia elétrica através das usinas hidrelétricas, que na matriz brasileira energética correspondia a 85% na época (Patusco, 2002). E atualmente, 2021, este gravíssimo problema aflige a produção de energia elétrica no Brasil (Jones, 2021). Um dos maiores consumidores de energia nas edificações é representado pelos sistemas de climatização, podendo chegar a 50% do consumo elétrico (Pérez-Lombard et al., 2008).

A condição de conforto térmico é descrita como a satisfação mental com o ambiente térmico envolto a pessoa, ou seja, de grosso modo, quando o indivíduo não está sentindo nem frio nem calor excessivo (Lamberts, 2013). Esta condição de conforto térmico varia de pessoa a pessoa. Entretanto, após longos estudos foi possível prover dados estatísticos onde uma porcentagem das pessoas estará em conforto ao estarem dentro de certo ambiente.

Para uma pessoa manter uma boa produtividade, seja no trabalho, estudos ou em casa, é necessário que ela esteja se sentindo confortável com o ambiente ao redor dela. Com a preocupação do consumo energético para prover este estado da mente, a simulação computacional é um recurso que permite a criação e experimentação de um sistema real, visando menor gasto financeiro ao gerar um sistema de ar-condicionado insuficiente ou superdimensionado. Desta forma, ter um bom projeto, com estudos concisos sobre o gasto energético, além de poder diminuir o gasto financeiro em consumo de energia, favorecerá a sociedade como um todo, ajudando a evitar um possível colapso na matriz energética, e proverá as condições necessárias para os ocupantes do ambiente estejam em conforto térmico.

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Lamberts et al. (2013), o conceito de eficiência energética pode ser entendido como um fator dependente de todas as construções que possibilita o conforto térmico, visual e acústico com baixo consumo de energia. Desta forma um edifício mais eficiente se trata de um edifício que proporciona as mesmas condições ambientais com um menor consumo de energia.

Segundo Lan et al. (2010), após realizarem um estudo sobre o efeito da temperatura interna de um escritório em três níveis diferentes (17°C, 21°C e 28°C), o desconforto térmico causado por baixas ou altas temperaturas teve influência negativa na produtividade dos trabalhadores desse escritório.

Yamaguti (2007) pesquisou sobre diferentes possibilidades de implantação de um edifício e sua influência no consumo de energia. Foi verificado orientação, altura do pavimento e fator de visão do céu. O trabalho mostrou que a orientação dos apartamentos é a principal variável para o consumo de energia, embora as outras variáveis também são importantes a serem avaliadas.

A orientação de um edifício influi na quantidade de calor recebida, e desta forma no seu consumo de energia. Assim, um guia de estratégias para reduzir o consumo de energia nas edificações foi desenvolvido utilizando o uso passivo de energia. Segundo Mascaró (1985):

“Um edifício bem-orientado consome mensalmente em média, 1,3 kWh de energia operante por metro quadrado de superfície de apartamento. Enquanto numa má

orientação com as fachadas principais expostas à maior carga térmica possível, o edifício consome 1,9 kWh.”

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é simular um conjunto de salas comerciais, utilizando o *software EnergyPlus* (EnergyPlus, 2021), que é disponibilizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir do ponto de que os usuários do conjunto de salas comerciais estejam em conforto térmico no ambiente no maior número de horas, e realizar esta análise para quatro diferentes rotações, e assim verificar como o consumo energético se comporta.

2. FUNDAMENTAÇÃO

Neste capítulo será abordado sobre as funcionalidades utilizadas para resolução dos problemas pelo *EnergyPlus*. Além disso, será explicitado sobre os conceitos de conforto térmico e arquivos climáticos utilizados para definição das condições ambientais.

2.1 ENERGYPLUS

O *software EnergyPlus* tem suas raízes tanto no *BLAST* como no *DOE-2* (EnergyPlus, 2021), que foram programas desenvolvidos na década de 1970 para simulação energética. Após a crise energética do começo da década de 1970, o mundo começou a olhar cada vez mais para o consumo de energia das construções. Como esses programas estavam obsoletos, devido às suas linguagens de programação antigas, e os sistemas de AVAC foram evoluindo, o *EnergyPlus* foi desenvolvido para suprir esta necessidade.

O *EnergyPlus* é um programa com todas as funcionalidades para simulação energética, onde é possível calcular as cargas de aquecimento e refrigeração necessárias para manter a temperatura definida das zonas térmicas, conforme a descrição do usuário no programa.

Para resolver os problemas, o *EnergyPlus* utiliza uma simulação integrada, isto quer dizer que a construção e o sistema de ar-condicionado são resolvidos simultaneamente. Desta forma, para resolução, o método realizado é formular o balanço de energia e de mistura do ar para a zona térmica e resolver a equação diferencial ordinária utilizando um método preditor-corretor.

O método preditor-corretor utilizado na equação pode ser resumido da seguinte forma: é estimada a energia necessária do sistema de ar-condicionado para balancear a temperatura do ar com a temperatura definida pelo usuário para o ambiente; após, com esta quantidade de energia como demanda, o sistema de ar-condicionado é simulado para determinar a capacidade verdadeira de fornecimento no momento da simulação; então, a verdadeira capacidade do sistema de ar-condicionado é usada na equação para calcular a temperatura resultante da zona térmica. Assim sendo, a formulação para resolução deste problema será:

$$-\dot{Q}_{sis} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) \quad (1)$$

na qual, \dot{Q}_{sis} é a transferência de calor pelo ar-condicionado [W], $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ é o somatório das cargas internas convectivas [W], $\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é o somatório de transferência de

calor convectivas das superfícies das zonas [W], $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ é o somatório de transferência de calor devido a mistura do ar entre as zonas [W], $\dot{m}_{inf} C_p (T_\infty - T_z)$ é transferência de calor devido a infiltração de ar externo [W]. O subíndice “ i ” indica a i -ésima superfície ou a i -ésima zona.

O sistema de ar-condicionado provém ar quente ou frio para alcançar a temperatura setada para o ambiente. A energia provida para a zona, \dot{Q}_{sis} , pode ser formulada com a diferença entre a entalpia do ar de entrada e a entalpia do ar de saída da zona:

$$\dot{Q}_{sis} = \dot{m}_{sis} C_p (T_{sup} - T_z) \quad (2)$$

a qual, C_p calor específico do ar da zona, T_{sup} é a temperatura do ar na saída do sistema de ar-condicionado e T_z é temperatura da zona. Substituindo na Equação 1, temos:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_\infty - T_z) + \dot{m}_{sis} C_p (T_{sup} - T_z) \quad (3)$$

na qual, $C_z \frac{dT_z}{dt}$ é a energia acumulada no ar da zona térmica [W].

A soma das cargas internas da zona e a saída do ar-condicionado, agora, equivale a energia acumulada na zona térmica. Para calcular esta derivada a respeito do tempo, uma aproximação por diferenças finita pode ser usada, como:

$$\frac{dT_z}{dt} = (\delta T)^{-1} \left(\frac{11}{6} T_z^t - 3T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2} T_z^{t-2\delta t} - \frac{1}{3} T_z^{t-3\delta t} \right) + O(\delta t^3) \quad (4)$$

2.1.1 CONDUÇÃO DE CALOR ATRAVÉS DE SUPERFÍCIES

O *EnergyPlus*, para resolução de problemas de condução de calor pelas superfícies, tanto internas como externas, utiliza das chamadas funções de transferência de calor (CTF). A forma básica destas funções pode ser vista nas equações abaixo para fluxo de calor interno e externo, respectivamente.

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j,\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j,\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (5)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j,\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j,\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (6)$$

nas quais, X_j é o coeficiente exterior da CTF do lado externo, Y_j é coeficiente cruzado da CTF, Z_j é o coeficiente interior da CTF, Φ_j é o coeficiente de fluxo CTF, T_i é a temperatura na superfície interna, T_o é a temperatura na superfície da parede, q''_{ko} é o fluxo de calor na superfície externa e q''_{ki} é o fluxo de calor na superfície interna.

2.1.2 BALANÇO DE ENERGIA EM SUPERFÍCIES EXTERNAS

O balanço de energia nas superfícies externas pode ser descrito por:

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0 \quad (7)$$

na qual, $q''_{\alpha sol}$ é o fluxo de calor da radiação absorvida direta e difusa, q''_{LWR} é o fluxo de calor da radiação das ondas térmicas (infravermelho) do ar e vizinhanças [W/m^2], q''_{conv} é o fluxo de calor convectivo do ar [W/m^2], e q''_{ko} é o fluxo de calor de condução da superfície [W/m^2]. O termo $q''_{\alpha sol}$ é calculado incluindo a incidência solar direta e difusa absorvida pela superfície [W/m^2], e é influenciado pela localização, ângulo da superfície, propriedades do material externo da superfície, condições climáticas, etc.

O parâmetro q''_{LWR} é o fluxo radiante líquido entre a superfície, o céu, e o chão [W/m^2], sendo calculado através da absorvidade das superfícies, temperatura das superfícies, temperatura do céu e do solo, e o fator de vista com o céu e solo.

2.1.3 BALANÇO DE ENERGIA EM SUPERFÍCIES INTERNAS

O balanço de energia interna é determinado utilizando-se quatro componentes, sendo esses, a condução através de elementos da construção, a convecção com o ar, a absorção e a reflexão de radiação de ondas curtas e a troca de radiação de ondas longas (infravermelho). A radiação de ondas curtas deve-se à radiação solar entrando pelas janelas e às emissões a partir de luzes internas. A radiação de ondas longas deve-se à absorção e à emissão de radiação de corpos a baixa temperatura, como outras superfícies internas, pessoas, e equipamentos elétricos.

O balanço de energia pode ser descrito como:

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \quad (8)$$

na qual, q''_{LWX} é o fluxo de calor de radiação de ondas longas entre superfícies [W/m^2], q''_{SW} é o fluxo de calor radiação de ondas curtas provenientes da luzes [W/m^2], q''_{LWS} é o fluxo de calor de radiação de ondas longas provenientes dos equipamentos elétricos [W/m^2], q''_{ki} é o fluxo de calor de condução de calor pela parede [W/m^2], q''_{sol} é fluxo de calor de radiação solar absorvida [W/m^2], e q''_{conv} é o fluxo de calor de convecção de calor com o ar [W/m^2].

2.2 ARQUIVO CLIMÁTICO

As condições do ambiente são essenciais para projetar um sistema de ar-condicionado corretamente, já que cada região possui suas próprias características de clima. Desta forma, para resolução de projetos, o *EnergyPlus* necessita de valores para informar as condições climáticas ao longo do ano na localidade onde será instalada a construção. Assim sendo, permite a inserção destes dados através de um arquivo externo com dados referente a temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, pluviosidade, velocidade e direção do vento, irradiância global sobre o plano horizontal, entre outras.

Em conjunto dos dados fornecido pelo INMET, Roriz, 2012, elaborou os arquivos climáticos de diversos municípios brasileiros, com dados climáticos de 2000 a 2010, visando o desenvolvimento da pesquisa científica, atividades econômicas, e culturais no país. O conjunto de arquivos climáticos das cidades brasileiras pode ser localizado no site do LabEEE (UFSC, 2012).

2.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é um estado da mente que expressa a satisfação com as condições térmicas ao redor da pessoa. Como há muitas variações de pessoa a pessoa, tanto físicas como psicológicas, é difícil para um ambiente estar satisfatório para todas as pessoas. Desta forma, diversos trabalhos e dados foram coletados para prover informações estatísticas para determinar a porcentagem de pessoas que irão achar o ambiente confortável termicamente. Os seis principais fatores para definição do conforto térmico são os seguintes: taxa metabólica, quantidade de roupas, temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade.

Neste trabalho será utilizada a norma ASHRAE 55 – “*Thermal environmental condition for human occupancy*” (ASHRAE, 2010), que especifica as combinações de fatores térmicos e fatores pessoais para produzir um ambiente com condições térmicas aceitáveis para a maioria dos ocupantes.

2.4 TEMPERATURA OPERATIVA

Temperatura operativa é uma temperatura teórica definida como o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente, isto significa que o software considera a transferência de calor por radiação entre o ocupante e o ambiente onde ele está presente. Esta radiação depende de fatores como as dimensões do ambiente, características térmicas e a localização da pessoa. No *EnergyPlus* é calculado a partir da seguinte formula:

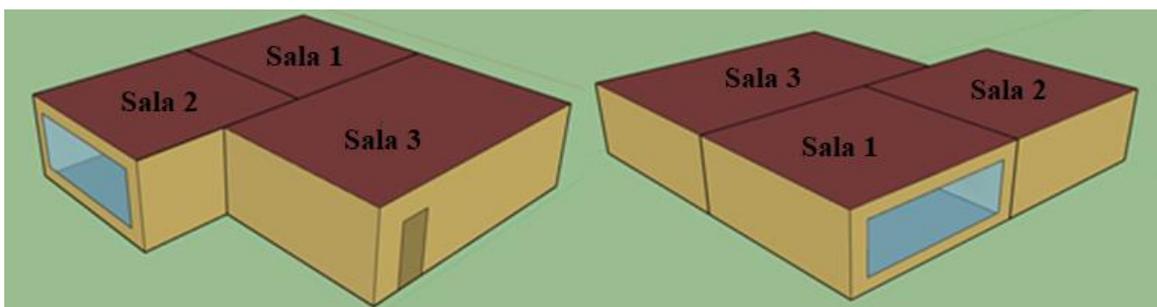
$$T_{OP} = \gamma T_{MRT} + (1 - \gamma) T_{bulboseco} \quad (9)$$

na qual γ é a fração radiante, T_{MRT} é a temperatura radiante média da zona térmica e $T_{bulboseco}$ é temperatura media do ar da zona térmica.

3. METODOLOGIA

Nesta primeira etapa é definido o dimensionamento de cada uma das salas comerciais, o posicionamento e o tamanho de cada uma das aberturas, porta e janelas. Este conjunto de salas comerciais será localizado em Porto Alegre, assim será usado o arquivo climático desta cidade. Além disso, é verificado a conexão entre as paredes que dividem as salas. Conforme a Figura 1, foi detalhado o conjunto de salas comerciais possuindo duas janelas, uma na Sala 1 e uma na Sala 2, e uma porta na Sala 3. Este conjunto de salas comerciais é um conjunto teórico que foi projetado desta forma pois assim as janelas das salas apontam em direções diferentes para cada uma das rotações.

Figura 1 - Conjunto de Salas Comerciais vista frontal e traseira



3.1 DIMENSIONAMENTO

Conforme o modelo mostrado na Figura 1, o dimensionamento de cada um dos cômodos pode ser visto na Tabela 1. O conjunto de salas comerciais é composto por três salas, definidas como três zonas térmicas, possuindo uma área total de 130,06 m² e 20 m² de área ocupada por janelas.

Tabela 1 - Dimensões do Conjunto de Salas Comerciais

	Área (m ²)	Volume (m ³)	Área da Janelas (m ²)	Área das Portas (m ²)
Sala 1	37,16	113,26	10	0
Sala 2	37,16	113,26	10	0
Sala 3	55,74	169,90	0	2,2

3.2 MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Os materiais utilizados na construção, e suas propriedades térmicas, seguem os padrões utilizados por (Harris, 1988). A composição de cada uma das paredes internas e externas, portas, pisos e tetos pode ser visualizada na Tabela 2. As propriedades de cada um dos materiais podem ser vistas no Anexo A, conforme suas designações.

Tabela 2 - Composição de cada tipo de construção

	Porta	Parede Externa	Parede Interna	Piso	Teto
Material 1	B10-Madeira	A1-Reboco	E1-Placa de Gesso	C10-Concreto	E2-Pedra
Material 2		C4-Tijolo Comum	C6-Tijolo Interno		E3-Membrana de feltro
Material 3		E1-Placa de Gesso	E1-Placa de Gesso		B5-Isolamento Denso
Material 4					C12-Concreto Fino

3.3 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS

As cargas térmicas internas são as fontes de calor geradas por equipamentos elétricos, pessoas e iluminação.

3.3.1 PESSOAS

As cargas térmicas geradas pelas pessoas foram consideradas conforme padrão de ocupação da ISO 7730 (ISO, 2005), metabolismo de uma pessoa realizando atividades leves em pé, 93 W/m². Por se tratar de um conjunto de salas comerciais, elas são utilizadas somente em dias de semanas durante horário comercial. A quantidade máxima de pessoas na Sala 1 e Sala 2 é três pessoas, e na Sala 3 é quatro pessoas. A fração radiante para cada uma das salas foi de 30%.

3.3.2 ILUMINAÇÃO

Para iluminação de cada ambiente foi considerada a necessidade de 300 a 500 lúmens por metro quadrado de construção, conforme NBR 5413 (ABNT, 1992), que propõe esta quantidade de fluxo luminoso para escritórios comerciais. Foram utilizadas para cálculo

lâmpadas LED de 18 W e fluxo luminoso de 1900 lúmens. Desta forma, para atingir a norma foram necessárias 9 lâmpadas para as Salas 1 e 2, cada, e 14 lâmpadas para a Sala 3. Assim, a potência gerada para as Sala 1 e Sala 2 foi de 162 W e para Sala 3, 252 W. A fração radiante considerada para iluminação foi de 20%.

3.3.3 EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Para os equipamentos elétricos foi considerado um total de 2000 W para as Salas 1 e 2, e para a Sala 3 um total de 2500 W. A fração radiante para equipamentos elétricos foi de 30%.

Os padrões de ocupação e utilização da iluminação e dos equipamentos elétricos podem ser visualizada no Apêndice A.

3.4 AVAC

Para o sistema de ar-condicionado do conjunto de salas comerciais foram adotados dois equipamentos. Para refrigeração, o chiller de absorção, que para lado de demanda do chiller está ligado a uma torre de resfriamento, e para parte de fornecimento está ligado a tubulações do sistema de ar-condicionado. Para aquecimento foi utilizado um sistema de aquecimento urbano, fornecendo calor a partir de uma fonte centralizada de água quente.

O sistema de condicionamento de ar de todas as salas está ligado a um termostato de temperatura operativa, cujo a temperatura definida é para atender a temperatura operativa de conforto térmico para 80% das pessoas segundo ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010), que pode ser visualizado no Anexo B.

O sistema de climatização pode ser visualizado nas Figuras 2 e 3 a seguir.

Na Figura 2 (a), para o loop de refrigeração foi utilizado um chiller de absorção, que abastece uma serpentina de resfriamento. Para movimentar o fluido foi selecionado uma bomba de velocidade variável, além disso, é necessário a definição do tipo de tubulação que transportará o fluido, assim todas foram definidas como tubulações adiabáticas. Também é necessário a utilização de bypass para os equipamentos. Como o chiller necessita de uma fonte fria para o seu condensador, conforme pode ser visto na Figura 2 (b), ele é abastecido a partir de uma torre de resfriamento, onde o fluido também é movimentado por uma bomba de velocidade variável, sendo utilizado tubulações adiabáticas e bypass para os equipamentos.

Na Figura 3 (a) está descrito o esquema do loop de aquecimento do conjunto de salas comerciais. Para aquecimento será utilizado aquecimento urbano, que irá atender cada uma das salas comerciais. Assim como na refrigeração e no condensador do chiller, o fluido é movimento por uma bomba de velocidade variável, os tubos são adiabáticos e os equipamentos possuem bypass. Na Figura 3 (b) é demonstrado o sistema do ar-condicionado, onde é utilizado um ventilador para movimentar o ar, passando pela serpentina de aquecimento ou pela serpentina de refrigeração, dependendo da necessidade do conjunto de salas comerciais.

Figura 2 – (a) Loop de Resfriamento (b) Loop Condensador Chiller Absorção

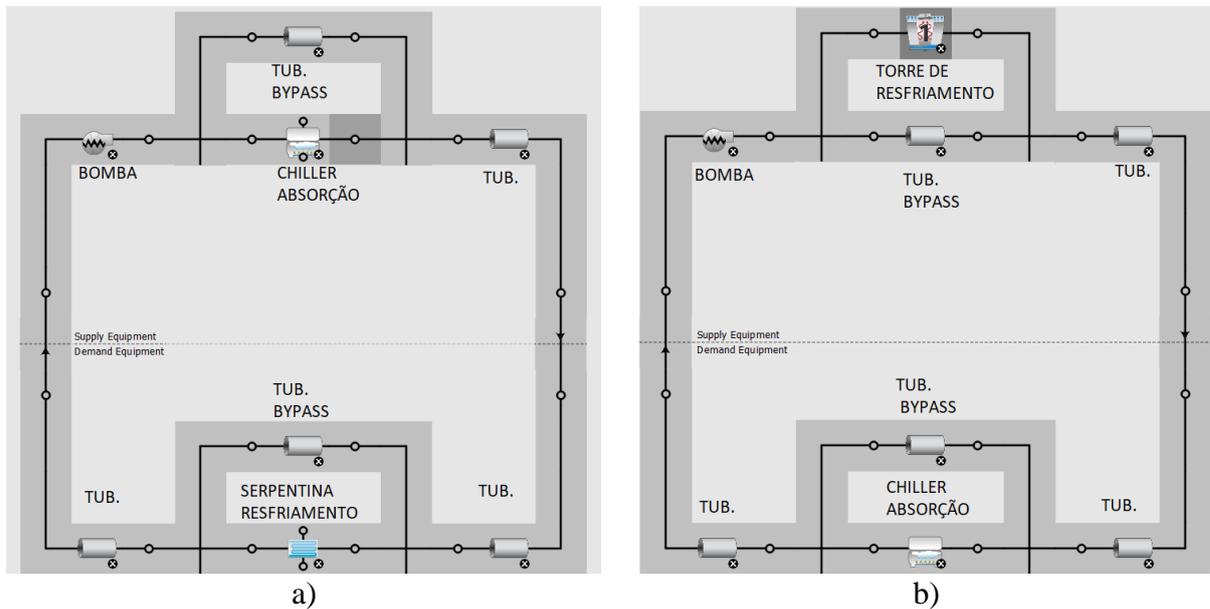
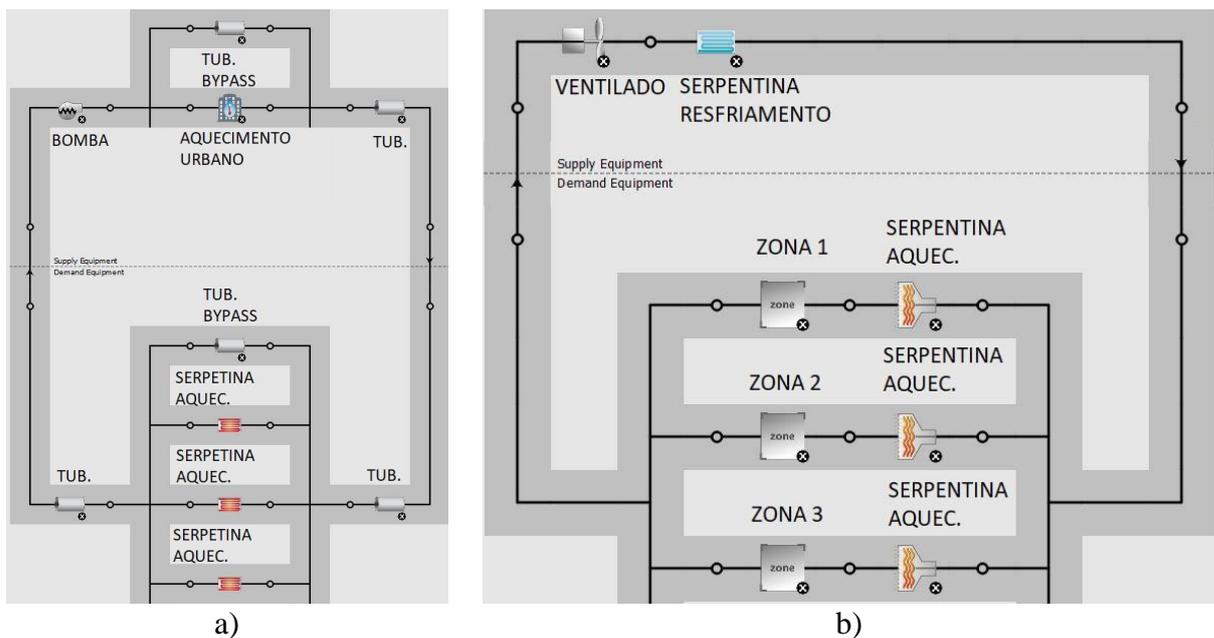


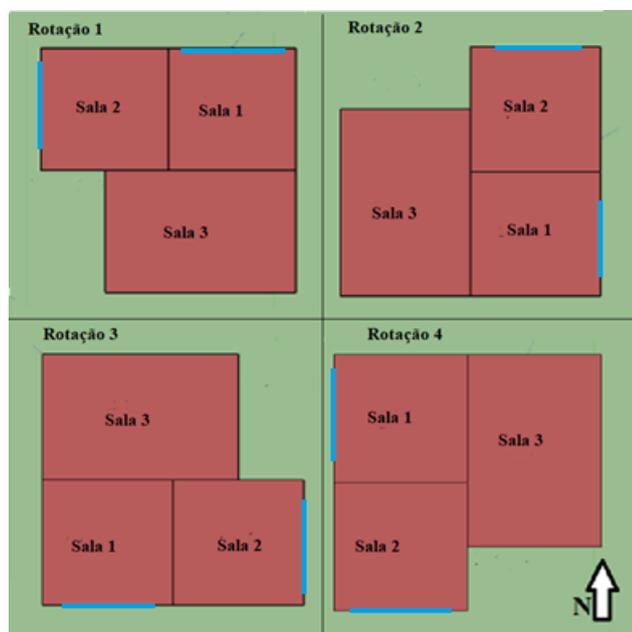
Figura 3 - (a) Loop Aquecimento (b) Loop sistema de ar-condicionado



3.5 ROTAÇÕES DA EDIFICAÇÃO

A análise deste trabalho propõe rotacionar a edificação em 4 posições diferentes, cada uma com uma defasagem de 90° , para verificação de qual modelo de posicionamento da mesma apresenta menor consumo energético ao longo do ano. A vista superior da construção e de cada uma das rotações, com o Norte apontando para cima, pode ser visto na Figura 3. As janelas são representadas pelas linhas azuis.

Figura 3 - Quatro posições de construção das salas



4 RESULTADOS

Os resultados encontrados serão analisados ao longo do dia da maior requisição do sistema de ar-condicionado, tanto no inverno como no verão, e uma análise anual das diferenças de consumo conforme cada rotação.

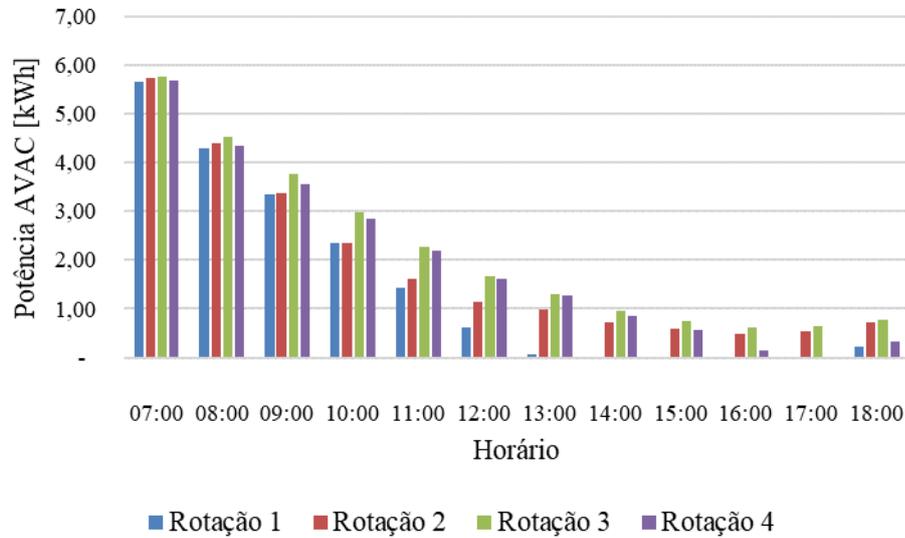
4.1 DIA TÍPICO DE INVERNO

As Figura 4, 7 e 8, mostram a potência necessária do sistema de ar-condicionado para atingir, em um dia típico de inverno, a temperatura operativa de conforto térmico para 80% das pessoas ao longo do dia, conforme ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010), que pode ser visualizado no Anexo B, para cada uma das salas comerciais. Também pode ser visualizado nas Figura 4 e Figura 5, que a rotação da edificação altera a potência necessária da Sala 1 e Sala 2.

Nas quatro rotações, no inverno, é possível ver a maior demanda de potência no começo da manhã. Isto se deve ao fato das salas esfriarem no decorrer da noite, pois a noite o sistema de ar-condicionado não opera, sendo ligado somente quando há ocupação nas salas. A potência do sistema de ar-condicionado é menos requisitada ao passar do dia, isto se deve ao sistema de ar-condicionado já ter aquecido as salas, pela presença de pessoas, iluminação e equipamentos elétricos e pelo aumento da temperatura exterior,

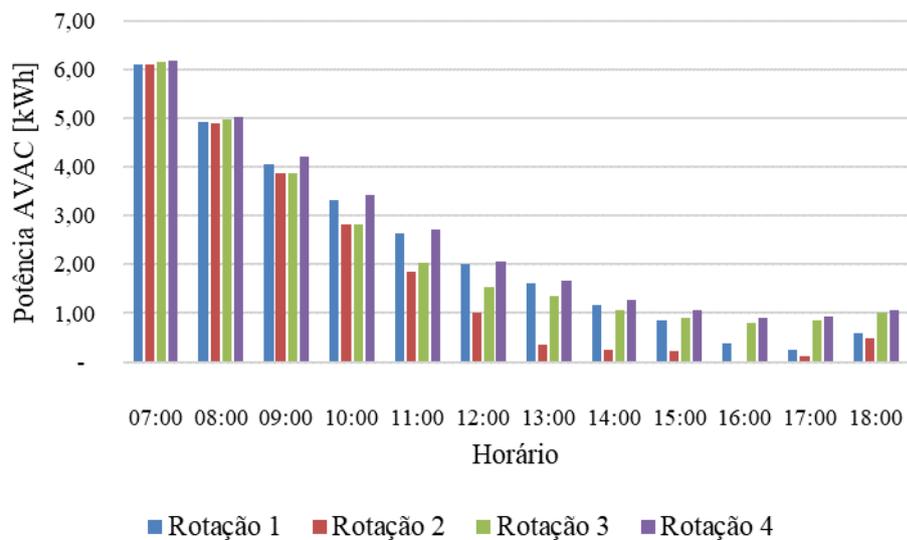
Na Sala 1, na Rotação 1, a potência do sistema de ar-condicionado para aquecer a sala está perto de zero a partir das 13:00, assim como na Rotação 4 a partir das 16:00. Ambas rotações novamente necessitam do sistema de ar-condicionado às 18:00, quando o Sol já se pôs.

Figura 4 - Potência AVAC necessária para temperatura operativa para conforto térmico na Sala 1 no inverno.



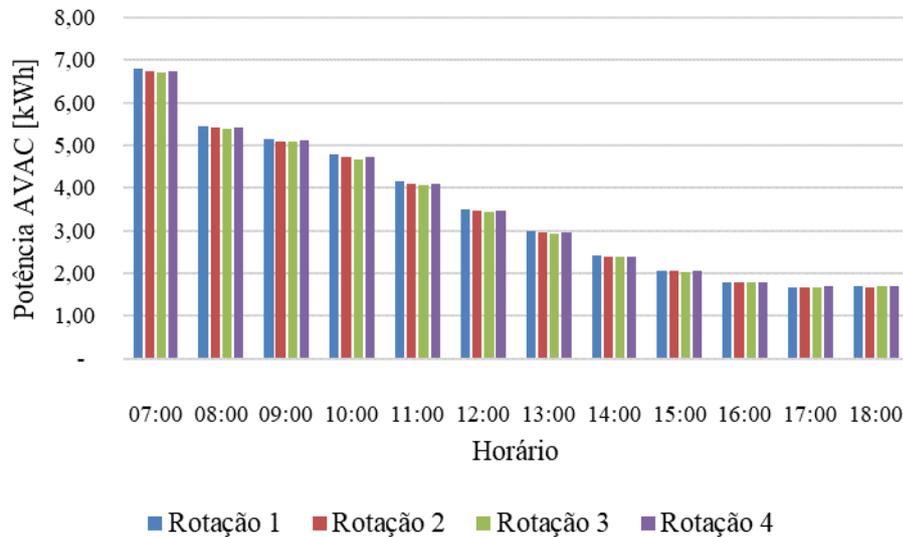
Na Sala 2 o comportamento é semelhante, porém em diferentes rotações. Na Rotação 2, a potência do sistema de ar-condicionado para aquecer a sala está perto de zero a partir das 13:00, sendo necessário o sistema de ar-condicionado voltar a funcionar às 18:00 quando o Sol já se pôs. Nas demais rotações em todos os momentos do dia é necessária a utilização do sistema de ar-condicionado para aquecer a sala.

Figura 5 - Potência AVAC necessária para temperatura operativa para conforto térmico na Sala 2 no inverno.



Na Sala 3, representada na Figura 6, a potência requisitada para o sistema de ar-condicionado ao longo do dia não se altera ao modificar a rotação de construção do conjunto comercial.

Figura 6 - Potência AVAC necessária para temperatura operativa para conforto térmico na Sala 3 no inverno

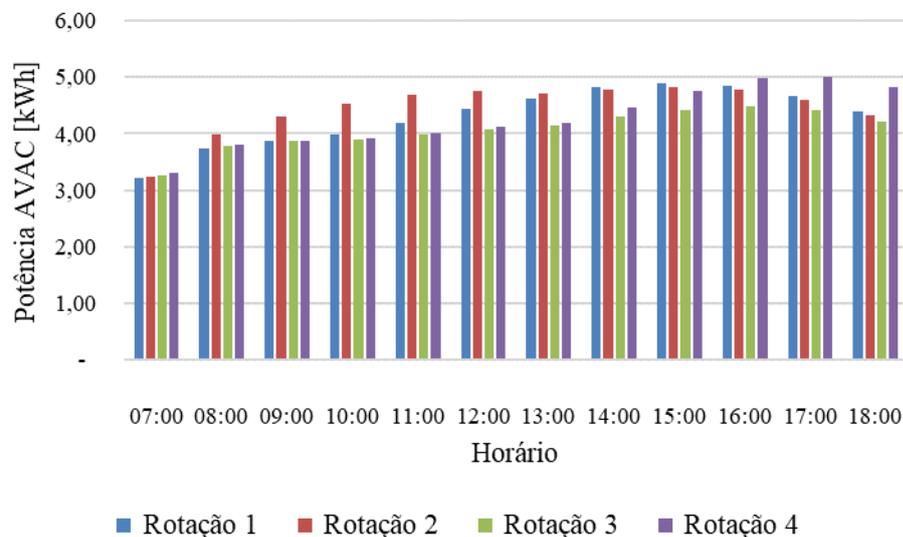


4.2 DIA TÍPICO DE VERÃO

Nas Figuras 9, 10 e 11, pode ser vista a potência necessária para manter as Salas 1, 2 e 3, respectivamente, na temperatura operativa para atender o conforto térmico de 80% dos ocupantes das salas em um dia típico do verão.

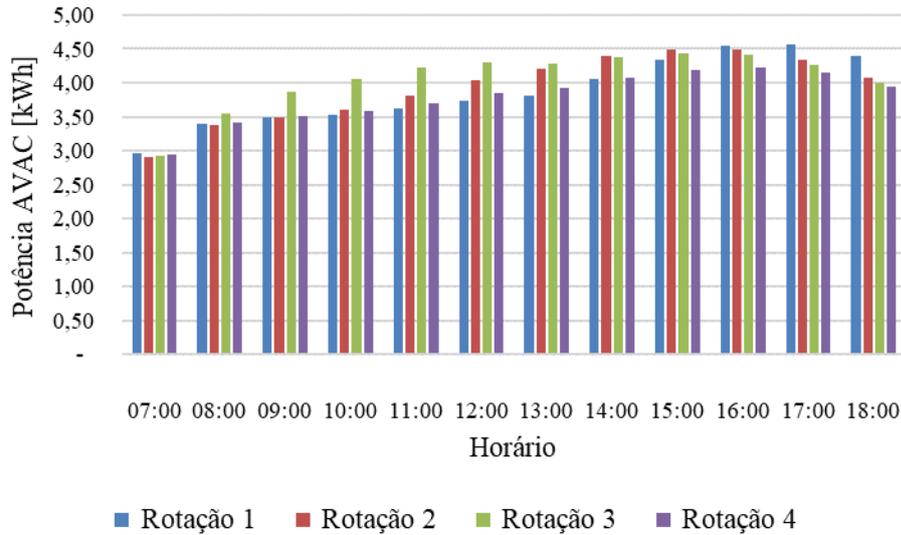
Na Sala 1, o sistema de ar-condicionado é mais requisitado na Rotação 2 ao longo da manhã. No começo da tarde a Rotação 1 é então mais requisitada, e no final da tarde a Rotação 4 se torna a mais requisitada. A Rotação 3 mantém ao longo de todo o dia com a menor requisição do sistema de ar-condicionado.

Figura 7 - Potência AVAC necessária para temperatura operativa para conforto térmico na Sala 1 no verão



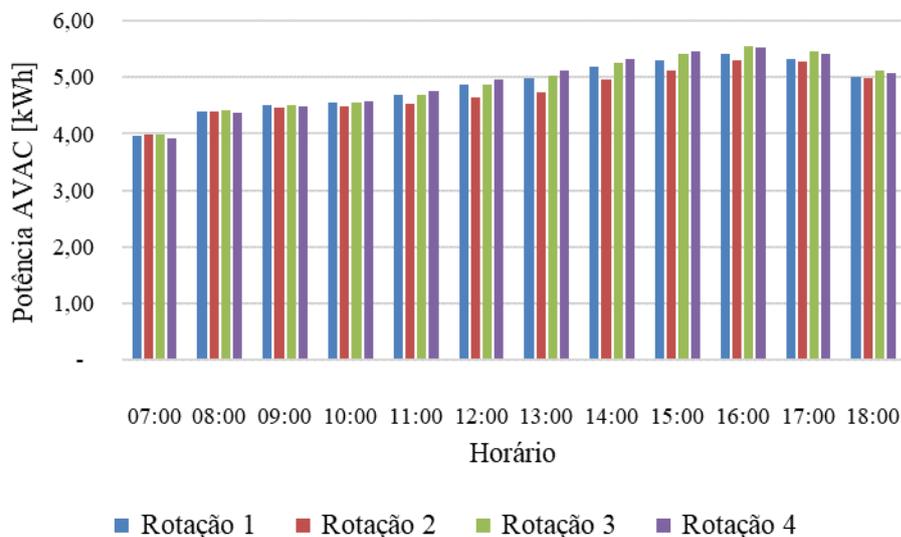
Na Sala 2, a maior requisição do sistema de ar-condicionado é verificada na Rotação 3 ao longo de praticamente todo o dia, com exceção no final da tarde, quando a Rotação 1 é mais requisitada. No começo da tarde a requisição da Rotação 3 é muito próxima a Rotação 2. A Rotação 4 mantém durante todo o dia a menor necessidade do sistema de ar-condicionado.

Figura 8 - Potência AVAC necessária para temperatura operativa para conforto térmico na Sala 2 no verão



Na Sala 3, representada na Figura 9, a potência necessária para todas as rotações se mantém próximas umas às outras, com somente uma leve diferença para a Rotação 2 ao longo da tarde, porém ao final da tarde, esta rotação se compara com as demais rotações.

Figura 9 - Potência AVAC necessária para temperatura operativa para conforto térmico na Sala 3 no verão



4.3 RESULTADO ANUAL

O consumo de energia ao longo de um ano pode ser visto na Tabela 3. Nela está descrito o consumo de energia para aquecimento, para resfriamento, e a soma dos dois. A comparação entre as rotações também foi calculada.

Para aquecimento, a diferença entre as Rotações 4 e 2, as duas rotações com mais e menos consumo, respectivamente, foi 110 kWh.

Para resfriamento, a diferença entre as Rotações 2 e 3, as duas rotações com mais e menos consumo, respectivamente, foi 682 kWh.

A diferença do consumo total em climatização do conjunto de salas comerciais entre as duas rotações com mais e menos consumo, ou seja, as Rotações 2 e 3, foi 609 kWh.

As Rotações 3 e 4 apresentam um melhor desempenho no quesito de refrigeração, enquanto as Rotações 1 e 2 apresentam melhor desempenho no aquecimento. Para o consumo total as Rotações 3 e 4 se sobressaem em comparação as Rotações 1 e 2.

Tabela 3 – Análise do consumo energético

	Rotação 1	Rotação 2	Rotação 3	Rotação 4
Aquecimento (kWh)	2598	2562	2635	2672
Resfriamento (kWh)	21381	21416	20734	20748
Total (kWh)	23979	23978	23369	23420
% Aquecimento	100,00%	98,61%	101,42%	102,85%
% Resfriamento	100,00%	100,16%	96,97%	97,04%
% Total	100,00%	100,00%	97,46%	97,67%

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto a análise do ponto de vista energético de um conjunto de salas comerciais, localizado na cidade de Porto Alegre. Foi analisado o mesmo conjunto de salas comerciais em quatro rotações diferentes. Como parâmetro a ser atendido em todas as rotações, foi designado que, quando houvesse ocupação na sala, a mesma deveria estar atendendo as condições de conforto térmico para pelo menos 80% das pessoas segundo norma.

Foi analisado a potência utilizada pelo sistema de ar-condicionado para proporcionar a temperatura operativa de conforto térmico ao longo de um dia.

No inverno, a potência para aquecer a Sala 1 é menor na Rotação 1, e na Sala 2 a menor potência para aquecer é na Rotação 2. Para ambas rotações, as janelas respectivas às suas salas estão voltadas para o Norte.

Esta menor requisição do sistema de ar-condicionado se deve ao fato de, ao estarem nestas rotações, entrar mais radiação solar na sala, desta forma aumentando a temperatura radiante média das superfícies das zonas, conseqüentemente aumentando a temperatura operativa. Assim, aproxima-se da temperatura requisitada para atender o conforto térmico dos ocupantes, sendo menos necessário o sistema de ar-condicionado. Como a Sala 3 não possui janelas, independente da rotação, a necessidade do sistema de ar-condicionado é igual para todas as rotações.

No verão, a Rotação 3 e Rotação 4 são as que menos requisitam o sistema de ar-condicionado para resfriamento nas Sala 1 e Sala 2, respectivamente. Seguindo de exemplo a análise feita no inverno, ambas as janelas das Sala 1 e Sala 2 se encontram direcionadas na

mesma direção, a direção Oeste. Diferente do inverno, no verão quanto menos as salas receberem radiação solar através das janelas, menos requisitado é o sistema de ar-condicionado. Isto se deve ao aumento da temperatura radiante média devido a radiação solar entrando nas salas, portanto aumentando a temperatura operativa, e assim ultrapassando os limites para o conforto térmico nas salas, desta forma gerando maior necessidade do sistema de ar-condicionado para evitar o desconforto térmico. Novamente na Sala 3, ao rotacionar o conjunto de salas comerciais, a potência requisitada ao ar-condicionado não mostra grandes alterações.

Ao se analisar ao longo de um ano inteiro, o consumo de energia possui melhor desempenho na Rotação 3, com pouca diferença para a Rotação 4, representado cerca de 3% a menos que a Rotação 1 e 2 para a carga térmica de resfriamento. Para carga térmica de aquecimento o contrário é observado. Tendo em vista o consumo total, tanto aquecimento e resfriamento, a Rotação 3 apresenta melhor desempenho, em torno de 2,5% menos que a Rotação 1, a pior rotação em relação ao consumo. Isto se deve ao sistema de ar-condicionado para resfriamento ser mais solicitado ao longo do ano do que para aquecimento.

Desta forma é possível concluir que a configuração do posicionamento de uma construção pode alterar o consumo energético de AVAC da mesma. Visando uma maior eficiência energética dos cômodos, é essencial uma orientação favorável à incidência solar, que para o verão são as janelas apontadas para o Oeste, e para o inverno são as janelas apontadas para o Norte.

Para próximos trabalhos, sugere-se avaliar a alteração do posicionamento das janelas, mudando para outras paredes, além da utilização de materiais para evitar a radiação solar dentro dos ambientes, como cortinas ou películas nas janelas, além de posicionamentos diferentes da construção utilizadas neste trabalho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413 Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERTATION AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2010.

ENERGYPLUS, U. S. D. of E. **Engineering Reference**, p. 1771, 2021. *E-book*. Disponível em: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/EngineeringReference.pdf Acesso em: 12 nov. 2021.

ENERGYPLUS, U. S. D. of E. **Getting Started**, p. 88. 2021. *E-book*. Disponível em: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/GettingStarted.pdf . Acesso em: 12 nov. 2021.

HARRIS, S. T. **A Study to Categorize Walls and Roofs on the Basis of Thermal Response**. 1988. Tese (Doutorado em Filosofia) - Oklahoma State University, Oklahoma, 1988.

JONES, C. **A Crise Energética no Brasil em 2021**. 2021. Disponível em: <https://energiahoje.editorabrasilenergia.com.br/a-crise-energetica-no-brasil-em-2021/> Acesso em: 12 nov. 2021

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Florianópolis. 2013. *E-book*. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 12 nov. 2021.

LAN, L.; LIAN, Z.; PAN, L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. **Applied Ergonomics**, Shanghai, v. 42, n. 1, p. 29–36, 2010.

MASCARÓ, L. **Energia na edificação: energia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projetos editores associados, 1985.

PATUSCO, J. A. M. Brasil – Energia em 2001. **ECEN**. Brasília, 2002. Disponível em: <https://ecen.com/eee33/brasilenerg2001.htm>. Acesso em: 12 out. 2021.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, Watford, v. 40, n. 3, p. 394–398, 2008.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, 2012. Relatório Interno. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf. Acesso em: 12 nov. 2021.

YAMAGUTI, M. L. **(In)Eficiência Energética Em Unidades Residenciais: Da Implantação Do Edifício Ao Perfil Socio-Econômico Do Usuário**. 2007. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

ANEXOS

ANEXO A – PROPRIEDADES TÉRMICAS E CÓDIGOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

As propriedades dos materiais descrito na seção 3.2 Materiais Construtivos pode ser visto nas imagens do Anexo A. Estas tabelas foram retiradas do trabalho de (Harris, 1988).

Figura A.1 – Propriedades Térmicas e Códigos dos Materiais Construtivos. Fonte: Harris, 1998.

TABLE VII
THERMAL PROPERTIES AND CODE NUMBERS OF LAYERS USED
IN WALL AND ROOF DESCRIPTIONS

CODE NUMBER	DESCRIPTION	THICKNESS AND THERMAL PROPERTIES					
		L	K	D	SH	R	MASS
A0	OUTSIDE SURF RESISTANCE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.333	0.0
A1	1" STUCCO	0.0833	0.4	116.0	0.20	0.208	9.7
A2	4" FACE BRICK	0.333	0.77	125.0	0.22	0.432	41.7
A3	STEEL SIDING	0.005	26.0	480.0	0.10	0.000	2.4
A4	1/2" SLAG	0.0417	0.11	70.0	0.40	0.379	2.2
A5	OUTSIDE SURF RESISTANCE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.333	0.0
A6	FINISH	0.0417	0.24	78.0	0.26	0.174	3.3
A7	4" FACEBRICK	0.333	0.77	125.0	0.22	0.432	41.7
B1	AIR SPACE RESISTANCE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.910	0.0
B2	1" INSULATION	0.083	0.025	2.0	0.2	3.333	0.2
B3	2" INSULATION	0.167	0.025	2.0	0.2	6.667	0.3
B4	3" INSULATION	0.25	0.025	2.0	0.2	10.000	0.5
B5	1" INSULATION	0.0833	0.025	5.7	0.2	3.333	0.5
B6	2" INSULATION	0.167	0.025	5.7	0.2	6.667	1.0
B7	1" WOOD	0.0833	0.07	37.0	0.6	10.000	3.1
B8	2.5" WOOD	0.2083	0.07	37.0	0.6	2.976	7.7
B9	4" WOOD	0.333	0.07	37.0	0.6	4.757	12.3
B10	2" WOOD	0.167	0.07	37.0	0.6	2.386	6.2
B11	3" WOOD	0.25	0.07	37.0	0.6	3.571	9.3
B12	3" INSULATION	0.25	0.025	5.7	0.2	10.000	1.4
B13	4" INSULATION	0.333	0.025	5.7	0.2	13.333	1.9
B14	5" INSULATION	0.417	0.025	5.7	0.2	16.667	2.4
B15	6" INSULATION	0.500	0.025	5.7	0.2	20.000	2.9
B16	0.15" INSULATION	0.0126	0.025	5.7	0.2	0.500	0.1
B17	0.3" INSULATION	0.0252	0.025	5.7	0.2	1.000	0.1
B18	0.45" INSULATION	0.0379	0.025	5.7	0.2	1.500	0.2
B19	0.61" INSULATION	0.0505	0.025	5.7	0.2	2.000	0.3
B20	0.76" INSULATION	0.0631	0.025	5.7	0.2	2.500	0.4
B21	1.36" INSULATION	0.1136	0.025	5.7	0.2	4.500	0.6
B22	1.67" INSULATION	0.1388	0.025	5.7	0.2	5.500	0.8
B23	2.42" INSULATION	0.2019	0.025	5.7	0.2	8.000	1.2
B24	2.73" INSULATION	0.2272	0.025	5.7	0.2	9.000	1.3
B25	3.33" INSULATION	0.2777	0.025	5.7	0.2	11.000	1.6
B26	3.64" INSULATION	0.3029	0.025	5.7	0.2	12.000	1.7
B27	4.54" INSULATION	0.3786	0.025	5.7	0.2	15.000	2.2

Figura A.2— Propriedades Térmicas e Códigos dos Materiais Construtivos. Fonte: Harris, 1998.

TABLE VII (Continued)

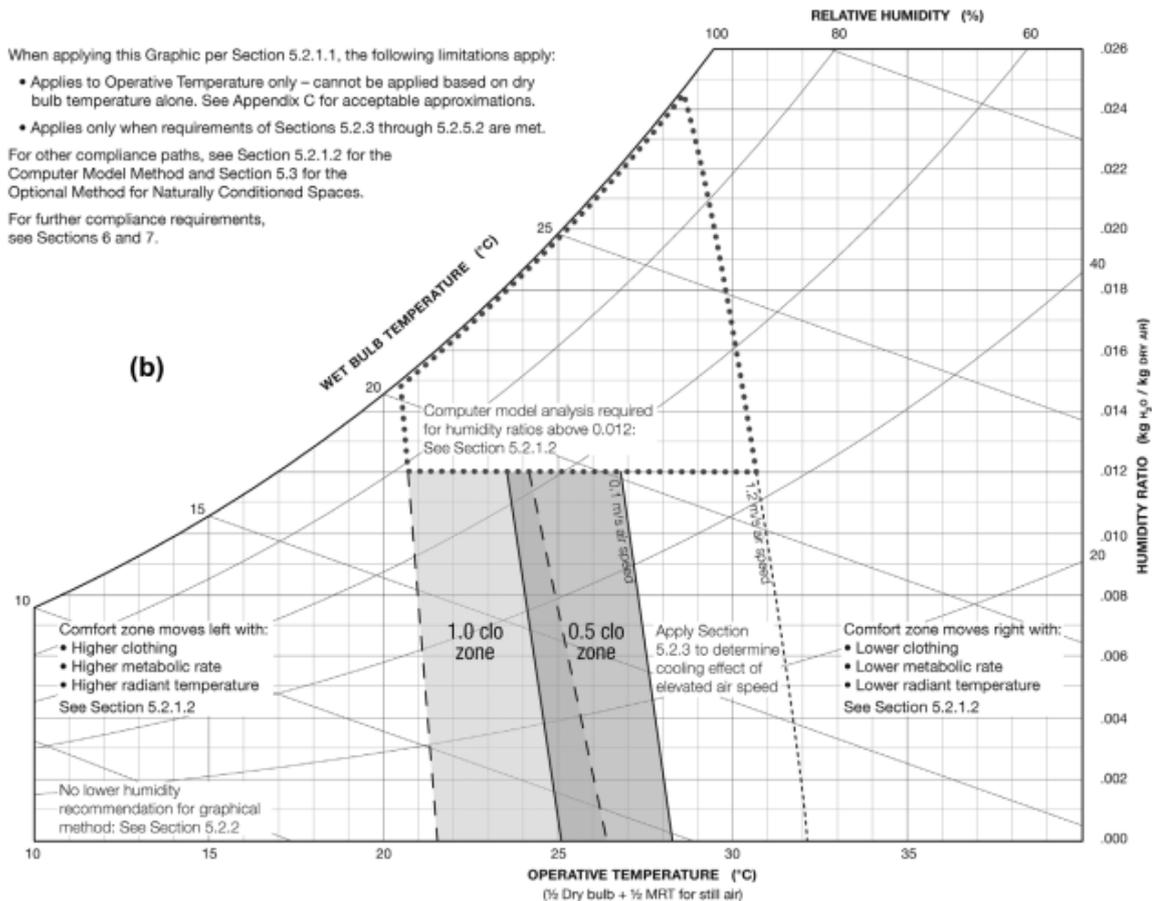
CODE NUMBER	DESCRIPTION	THICKNESS AND THERMAL PROPERTIES					
		L	K	D	SH	R	MASS
C1	4" CLAY TILE	0.333	0.33	70.0	0.2	1.009	23.3
C2	4" LW CONCRETE BLOCK	0.333	0.22	38.0	0.2	1.514	12.7
C3	4" HW CONCRETE BLOCK	0.333	0.47	61.0	0.2	0.709	20.3
C4	4" COMMON BRICK	0.333	0.42	120.0	0.2	0.793	40.0
C5	4" HW CONCRETE	0.333	1.0	140.0	0.2	0.333	46.7
C6	8" CLAY TILE	0.667	0.33	70.0	0.2	2.000	46.7
C7	8" LW CONCRETE BLOCK	0.667	0.33	38.0	0.2	2.000	25.3
C8	8" HW CONCRETE BLOCK	0.667	0.6	61.0	0.2	1.111	40.7
C9	8" COMMON BRICK	0.667	0.42	120.0	0.2	1.588	80.0
C10	8" HW CONCRETE	0.667	1.0	140.0	0.2	0.667	93.4
C11	12" HW CONCRETE	1.0	1.0	140.0	0.2	1.000	140.0
C12	2" HW CONCRETE	0.167	1.0	140.0	0.2	0.167	23.3
C13	6" HW CONCRETE	0.5	1.0	140.0	0.2	0.500	70.0
C14	4" LW CONCRETE	0.333	0.1	40.0	0.2	3.333	13.3
C15	6" LW CONCRETE	0.5	0.1	40.0	0.2	5.000	20.0
C16	8" LW CONCRETE	0.667	0.1	40.0	0.2	6.667	26.7
C17	8" LW CONC.BLK(FILLED)	0.667	0.08	18.0	0.2	8.338	12.0
C18	8" HW CONC.BLK(FILLED)	0.667	0.34	53.0	0.2	1.962	35.4
C19	12" LW CONC.BLK(FILLED)	1.000	0.08	19.0	0.2	12.500	19.0
C20	12" HW CONC.BLK(FILLED)	1.000	0.39	56.0	0.2	2.564	56.0
E0	INSIDE SURF RESISTANCE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.685	0.0
E1	3/4" PLASTER OR GYPSUM	0.0625	0.42	100.0	0.2	0.149	6.3
E2	1/2" SLAG OR STONE	0.0417	0.83	55.0	0.40	0.050	2.3
E3	3/8" FELT & MEMBRANE	0.0313	0.11	70.0	0.40	0.285	2.2
E4	CEILING AIR SPACE	0.0	0.0	0.0	0.0	1.000	0.0
E5	ACOUSTIC TILE	0.0625	0.035	30.0	0.2	1.786	1.9

DEFINITIONS : L - THICKNESS; K - THERMAL CONDUCTIVITY; D - DENSITY;
SH - SPECIFIC HEAT; R - THERMAL RESISTANCE
UNITS : L = ft; K = BTU/hr-ft-F; D = lb/ft³; SH = BTU/lb-F;
R = hr-ft²-F/BTU; MASS = lb/ft²

ANEXO B – TEMPERATURA OPERATIVA E TAXA DE UMIDADE PARA ATENDER CONFORTO TÉRMICO

Segundo a Norma ASHRAE 55, a região de conforto térmico para ocupantes de um ambiente está localizada nas condições de temperatura e umidade localizados nas áreas cinzas do gráfico.

Figura A.3 – Intervalo de conforto térmico. Fonte: ASHRAE, 2010.



APÊNDICE

APÊNDICE A – CARGA HORÁRIA DE PESSOAS, ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Os valores são validos para dias-de-semana, para o final de semana todos os valores são 0.

Tabela A.1 – Cargas horárias de iluminação

Período	Utilização
0:00 - 06:00	5%
06:00 - 07:00	20%
07:00 - 17:00	100%
17:00 - 18:00	50%
18:00 - 00:00	5%

Tabela A.2 – Cargas horárias de equipamentos elétricos

Período	Utilização
0:00 - 07:00	0%
07:00 - 18:00	100%
18:00 - 00:00	0%

Tabela A.3 – Cargas horárias de ocupação

Período	Utilização
0:00 - 06:00	0
06:00 - 07:00	10%
07:00 - 08:00	50%
08:00 - 12:00	100%
12:00 - 13:00	50%
13:00 - 16:00	100%
16:00 - 17:00	50%
17:00 - 18:00	10%
18:00 - 00:00	0