

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA – CEFET/RJ

Comparação Energética entre os Métodos de Climatização do tipo *Spot Cooling* e Volume Total

Fábio Pinheiro Ribeiro

Prof. Orientador: Alexandre Silva de Lima D.Sc.

**Rio de Janeiro
Novembro de 2019**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

Comparação Energética entre os Métodos de Climatização do tipo *Spot Cooling* e Volume Total

Fábio Pinheiro Ribeiro

Projeto final apresentado em cumprimento às normas do Departamento de Educação Superior do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador: Alexandre Silva de Lima D.Sc.

**Rio de Janeiro
Novembro de 2019**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

R484 Ribeiro , Fábio Pinheiro.

Comparação Energética entre os Métodos de Climatização do tipo Spot Cooling e Volume Total / Fábio Pinheiro Ribeiro – 2019. xiv, 74f. + apêndices : il. color., grafs., tabs. ; enc.

Projeto Final (Graduação). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2019.

Bibliografia: f. 72-74.

Orientador: Alexandre Silva de Lima.

1. Engenharia mecânica. 2. Refrigeração – Consumo de energia. 3. Ventilação. I. Lima, Alexandre Silva de (Orient.). II. Título.

CDD 621

Elaborada pelo bibliotecário Leandro Mota de Menezes CRB-7/5281

RESUMO

Dentre as soluções no ramo de climatização, grandes espaços sempre foram desafiadores, pois nesses casos os métodos tradicionais se mostram ineficientes energeticamente. A proposta desse trabalho é apresentar um método de climatização não convencional, o *spot cooling*, e provar sua maior eficácia para grandes espaços. Tal comprovação é exposta através da comparação energética entre a solução alternativa e o método tradicional de volume total. Para melhorar a análise do método de *spot cooling* é programada uma calculadora de parâmetros que visa calcular o gasto energético dessa aplicação com alta precisão. Visando o cálculo das cargas térmicas incidentes sobre os sistemas, é escolhido um galpão modelo com variáveis conhecidas. Com todas as proposições definidas e calculadas são elaborados gráficos de performance de ambos os sistemas ilustrando a melhor aplicabilidade para diferentes casos se atendo às normas NR15 e ASHRAE 55 e seus requisitos de conforto térmico. Os resultados do trabalho demonstram uma larga vantagem na aplicação do método de *spot cooling* para aplicação industrial de baixa densidade populacional. Enquanto o método tradicional de climatização por volume total é mais eficiente em ambientes densos.

Palavras chaves: Spot cooling; Climatização; Industrial; Conforto.

ABSTRACT

Among the solutions in the refrigeration industry, large spaces have always been challenging, as in these cases the traditional methods are energy inefficient. The purpose of this paper is to present an unconventional cooling method, spot cooling, and prove its greatest effectiveness for large spaces. Such proof is exposed through the energetic comparison between the alternative solution and the traditional total volume method. To improve the analysis of the spot cooling method, a parameter calculator was programmed to find the energy expenditure of this application with high precision. In order to calculate the thermal loads on the systems, a model industrial shed with known variables is chosen. With all propositions defined and calculated, performance's graphs of both systems are drawn to illustrate the best applicability for different cases meeting NR15 and ASHRAE 55 standards and their thermal comfort requirements. The results of the work demonstrate a great advantage in the application of spot cooling method for low population density industrial application. While the traditional method of full volume cooling is more efficient in dense environments.

Keywords: Spot Cooling; Refrigeration; Industrial; Confort.

SUMÁRIO

Capítulo 1.....	1
Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Metodologia	2
Capítulo 2.....	4
Revisão Bibliográfica	4
2.1 Sistema de <i>Spot Cooling</i>	4
2.1.1 Métodos de <i>Spot Cooling</i>	4
2.1.2 ConFigurações dos Equipamentos	5
2.1.3 Jatos de Ar	6
2.1.4 Comportamento do Jato de Ar – Isotérmico	8
2.1.5 Comportamento do Jato de Ar – Não Isotérmico.....	8
2.2 Conforto Térmico	10
2.3 Transferência de Calor.....	11
2.4 Normas.....	14
2.5 Carga Térmica.....	17
2.5.1 Cálculo para a Hora de Pico (CLTD/CLF)	17
2.5.2 Cálculo Hora a Hora (TETD/TA, TFM, HB ou RTS)	17
2.6 Psicrometria	18
2.7 Parâmetros Ambientais	19
2.8 Trabalhos de Referência	21
2.8.1 Diretrizes Básicas para Projeto de <i>Spot Cooling</i> – N. Z. Azer ASHRAE <i>Transactions</i>	21
2.8.2 <i>Spot Cooling</i> como uma Alternativa ao Climatização Convencional – <i>Kuwait Institute for Scientific Research</i>	22

Capítulo 3.....	23
Desenvolvimento	23
3.1 Critérios Exigidos por Normas	23
3.1.1 Dissipação Térmica Humana	23
3.1.2 Norma de Conforto ASHRAE 55.....	25
3.1.3 Parâmetros NR 15	28
3.2 Estudo de Caso – Método de Volume Total	29
3.2.1 Localização Geográfica.....	30
3.2.2 Parâmetros Construtivos	31
3.2.2.1 Resultados Parciais	34
3.2.2.2 Proposta de Melhoria	35
3.2.2.3 Resultados Finais	39
3.2.3 Carga de Iluminação.....	40
3.2.3.1 Resultados Parciais	41
3.2.3.2 Proposta de Melhoria	41
3.2.4 Qualidade do Ar Interior – Ar exterior.....	42
3.2.4.1 Resultados Totais por Área	43
3.2.4.2 Resultados Totais por Pessoas	46
3.2.5 Resultado Final da Carga Térmica.....	47
3.3 Desenvolvimento do Programa de Seleção de Parâmetros de <i>Spot Cooling</i> ..	49
3.3.1 Resultados Gerados pelo Programa de Seleção de Parâmetros.....	56
Capítulo 4.....	59
Comparação entre os Métodos.....	59
4.1 Adequação à NR 15 Moderado.....	59
4.2 Adequação à NR15 Pesado.....	61
4.3 Adequação à ASHRAE 55 - MET 1,77	63
4.4 Adequação à ASHRAE 55 - MET 2,16.....	65

4.5 Adequação à ASHRAE 55 - MET 2,94.....	66
4.6 Adequação a ASHRAE 55 - MET 4,32.....	68
4.7 Análise dos Resultados	68
Capítulo 5.....	71
Conclusão	71
BIBLIOGRAFIA	72
REFÊNCIA NORMATIVA	73
APÊNDICE A: Resultados Gerados pelo Programa de Carga Térmica HAP.....	74
APÊNDICE B: Código de Programação Referente a Calculadora de Parâmetros.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamento Móvel não Dutado	5
Figura 2 - Exemplo <i>Spot Cooling</i> Coletivo	6
Figura 3 - Perfil de Velocidade em um Jato Turbulento	7
Figura 4 - Representação Esquemática da Fisiologia Humana e a Trocas	12
Figura 5 - Escala de Sensações (ASHRAE 55, 2004)	16
Figura 6 – Carta Psicrometrica	18
Figura 7 - (a) Zona Climática 8 e (b) Carta Psicrométrica Zona 8	20
Figura 8 – Parâmetros a serem inseridos no CBE (TYLER, 2017).....	26
Figura 9 - MET 1,77(a) MET 2,16(b) MET 2,94(c) MET 2,16(d) (TYLER, 2017) ...	27
Figura 10 - MET 1,77(a) MET 2,16(b) MET 2,94(c) MET 2,16(d) (TYLER, 2017) .	28
Figura 11 - Planta Baixa Galpão Modelo	30
Figura 12 – Bloco de Concreto	31
Figura 13 – Telha em Concreto ConFiguração W	33
Figura 14 – Gráfico de Desempenho dos Isolantes	36
Figura 15 - Nova ConFiguração do Telhado Proposta	37
Figura 16 – Gráfico do Consumo Típico Mensal	39
Figura 17 – Gráfico de Comparação entre Carga Térmica com Quantidades de Pessoas Distintas.....	48
Figura 18 – <i>Userform</i> para Inserção de Dados	50
Figura 19 – Exemplo de Inserção de Parâmetros	51
Figura 20 – Bancos de Dados de Temperatura do Rio de Janeiro.....	52
Figura 21 – Exemplo de Disposição dos Parâmetros	53
Figura 22 – Exemplo do Cálculo da Velocidade e Temperatura.....	53
Figura 23 – Exemplo da Adequação das Normas.....	54
Figura 24 – Exemplo do Cálculo do Calor Sensível	54
Figura 25 – Fluxograma Ilustrativo da Calculadora PSP	55
Figura 26 – Gráfico que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para NR 15 Moderado	60
Figura 27 – Gráfico da que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para NR 15 Pesado	62
Figura 28 – Gráfico que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para MET 1,77	64

Figura 29 – Gráfico que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para MET 2,16	65
Figura 30 – Gráfico que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para MET 2,94	67
Figura 31 – Gráfico das Faixas de Aplicação dos Métodos	69
Figura 32 – Gráfico Comparativo entre os Métodos para o Galpão Modelo com 60 Pessoas	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas de Metabolismo por Tipo de Atividade	14
Tabela 2 – Temperaturas Máximas (NR15-ANEXO3, 2015)	15
Tabela 3 - Condições Externas Adotadas para os Dias-Tipo (°C).....	20
Tabela 4 – Dissipação Térmica Humana – Fator de Calor Sensível.....	23
Tabela 5 – Calor Latente e Sensível Dissipado	24
Tabela 6 –Calor Total e seu Metabolismo Equivalente (MET).....	25
Tabela 7 – Temperaturas de Conforto <i>Spot Cooling</i>	26
Tabela 8 – Temperatura de Conforto Volume Total.....	27
Tabela 9 – Temperaturas Máximas para Regulamentação	29
Tabela 10 – Áreas com Fluxo de Calor	31
Tabela 11 – Densidade Aparente (ρ), Condutividade Térmica (λ) e Calor Específico (c) de Materiais (LAMBERTS, 2005)	32
Tabela 12 - Resistência Térmica Superficial Interna Externa	32
Tabela 13 - Carga Térmica Parcial Construtiva.....	34
Tabela 14 – Densidade Aparente (ρ), Condutividade Térmica (λ) e Calor Específico (c) de Materiais (LAMBERTS, 2005)	35
Tabela 15 - Resistência Térmica de Câmara de Ar não Ventiladas, com Largura muito maior do que a Espessura. (LAMBERTS, 2005)	36
Tabela 16 – Diferença Percentual Entre os Isolantes.....	37
Tabela 17 – Carga Térmica de Pico depois da Aplicação de Isolamento.....	38
Tabela 18 – Consumo Típico Mensal	39
Tabela 19 - Iluminâncias por Classe de Tarefas Visuais (ABNT 5413, 1992)	40
Tabela 20 – Taxa de Renovação de Ar (ASHRAE STANDARD 62.1, 2007).....	42
Tabela 21 – Calor Total do Ar Exterior no Verão por Área em kW	44
Tabela 22 – Calor Total do Ar Exterior no Outono por Área kW	44
Tabela 23 – Calor Total do Ar Exterior no Inverno por Área kW.....	45
Tabela 24 – Calor Total do Ar Exterior na Primavera por Área kW	45
Tabela 25 – Calor Total do Ar Exterior no Verão por Pessoa em W	46
Tabela 26 – Calor Total do Ar Exterior no Outono por Pessoa em W	46
Tabela 27 - Calor Total do Ar Exterior no Inverno por Pessoa em W	47
Tabela 28 – Calor Total do Ar Exterior na Primavera por Pessoa em W	47
Tabela 29 – Carga Térmica Total do Galpão Modelo	48

Tabela 30 – Resultados da Carga de Climatização para Hora Típica.....	56
Tabela 31 – Tabelas dos Parâmetros mais Eficientes em cada Condição (a) NR 15 Moderado (b) NR 15 Pesado	57
Tabela 32 – Tabelas dos Parâmetros mais Eficientes em cada Condição (a) MET 1,77 (b) MET 2,16	58
Tabela 33 – Tabelas dos Parâmetros mais Eficientes em cada Condição (a) MET 2,94 (b) MET 2,94	58
Tabela 34 - Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para NR 15 Moderado	59
Tabela 35 - Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para NR 15 Pesado.....	61
Tabela 36 – Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para MET 1,77	63
Tabela 37 - Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para MET 2,16	65
Tabela 38 - Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para MET 2,94	67
Tabela 39 – Comparação entre os Métodos para o Galpão Modelo com 60 Pessoas..	69

LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS

θ_0	Temperatura de insuflação (K)
θ_{oz}	Temperatura do ambiente (K)
θ_x	Temperatura na distância x (K)
$\Delta\theta_0$	Diferencial entre a temperatura de insuflação e ambiente (K)
$\%_{At}$	Percentual da área do telhado sobre a área total (%)
$\%_{qt}$	Percentual do fluxo do telhado sobre o fluxo total (%)
$\%_{w+p}$	Percentual da área das paredes e das partições sobre a área total (%)
λ	Condutividade térmica (W/(m.K))
A_0	Área do difusor
A_{DU}	Área superficial do corpo
Ar_0	Número de Arquimedes
A_0	Área do difusor (m^2)
A_p	Área das partições (m^2)
Ar_0	Número de Arquimedes
A_t	Área do telhado (m^2)
A_t	Área total do galpão (m^2)
A_{total}	Área total de fluxo de calor (m^2)
A_w	Área das paredes (m^2)
<i>área1</i>	Área do setor de montagem (m^2)
<i>área2</i>	Área do setor de armazenamento (m^2)
\dot{c}	Taxa de carga por metro quadrado por hora (W/m ² *h)
C_{an}	Carga térmica anual (kW)
C_{RES}	Perda de calor sensível pela respiração, por convecção (W)
$C + R$	Perda de calor sensível pela pele
CL	Calor latente (W)
CS	Calor sensível (W)
d	Diâmetro do difusor (m)
d	Dia
e	Espessura (m)
E_{RES}	Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W)
E_{SK}	Perda de calor latente pela pele, através da evaporação (W)
h	Hora (h)

HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
IBTUG	Índice de bulbo úmido e termômetro de globo
K_1	Constante de características dinâmicas do jato de difusão
K_2	Constante de características térmicas do jato de difusão
K_n	Constante de não isothermalidade
L	Calor latente específico da água (kJ/kg)
l	Altura do corpo
L	Carga térmica atuante sobre o corpo
M	Taxa metabólica de produção de calor
m	Massa do corpo (kg)
m	Mês
m_a	Massa de ar seco (g)
m_w	Massa de vapor de água (g)
Pd_1	Potência dissipada do setor de montagem (W)
Pd_2	Potência dissipada do setor de armazenamento (W)
Pd_{flo}	Potência dissipada pela lâmpada fluorescente (W/m ²)
Pd_l	Potência dissipada da lâmpada por área (W/m ²)
Pd_{led}	Potência dissipada pela lâmpada LED (W)
Pd_t	Potência dissipada total (W)
PMV	Voto médio estimado
PPD	Porcentagem de pessoas insatisfeitas
Pr	Número de Prandtl
ρ	Massa específica (kg/m ³)
Q	Vazão de ar (L/s)
Q_{AE}	Vazão de ar exterior (L/s)
Q_d	Vazão de ar exterior do depósito (L/s)
Q_o	Vazão de ar exterior da oficina (L/s)
q_{m^2}	Vazão mínima de ar exterior por área (L/s*m ²)
q_p	Fluxo de calor pelas partições (kW)
q_t	Fluxo de calor pelo telhado (kW)
q_w	Fluxo de calor pela parede (kW)
Q_{RES}	Taxa total de perda de calor pela respiração
Q_{SK}	Taxa total de perda de calor pela pele
Ra	Resistência térmica do concreto ($m^2 * K$)/W

R_{ar}	Resistência térmica da câmara de ar ($m^2 * K)/W$
R_b	Resistência térmica do centro do bloco ($m^2 * K)/W$
R_c	Resistência térmica do bloco de concreto ($m^2 * K)/W$
R_t	Resistência térmica ($m^2 * K)/W$
R_{se}	Resistência térmica superficial externa ($m^2 * K)/W$
R_{si}	Resistência térmica superficial interna ($m^2 * K)/W$
T_r	Temperatura ambiente (K)
ΔT	Diferencial de temperatura ($^{\circ}C$)
t_{BU}	Temperatura de bulbo úmido
t_{BS}	Temperatura de bulbo seco
t_g	Temperatura de globo
Ut	Transmitância térmica $W/(m^2 * K)$
v_0	Velocidade de saída do ar do difusor (m/s)
v_x	Velocidade na distância x (m;s)
W	Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo (W)
W	Umidade específica (g/kg)
Δw	Diferencial de massa de vapor de água (g/kg)
x	Altura percorrida pelo jato (m)

Capítulo 1

Introdução

A climatização de grandes espaços sempre se mostra como um desafio na área de ar condicionado. O sistema tradicional como o de volume total, nessas situações, pode se apresentar ineficiente energeticamente ou inviável financeiramente. Para isso, a aplicação de um sistema não convencional de climatização pode solucionar parte desses desafios.

O *spot cooling* consiste em jatos de ar individuais localizados logo acima dos postos de trabalho. Esses jatos combinam dois fatores primordiais relacionados ao conforto, a velocidade e a temperatura, e permitem que o espaço se adeque as normas tanto nacionais, NR 15, quanto internacionais ASHRAE 55. Sua aplicação pode propiciar conforto térmico e aumentar a satisfação do trabalhador e conseqüentemente sua produtividade.

Neste trabalho, é criada uma calculadora de parâmetros aplicados ao método de *spot cooling* para possibilitar a análise de um grande número de combinação de fatores. As melhores condições são selecionadas e assim é calculado o gasto energético necessário anualmente por posto de trabalho.

O método de volume total consiste na climatização de todo o ambiente, não somente dos postos de trabalho. Com isso, é necessário considerar as cargas térmicas que incidem sobre o mesmo. Para que seja possível o cálculo da carga térmica, é preciso considerar um ambiente modelo, com variáveis conhecidas.

O entendimento de todas as variáveis é importante para estabelecer uma comparação entre o método convencional e o de *spot cooling* e, assim, auxiliar a escolha do sistema adequado para uma instalação de climatização em grandes espaços, a fim de propiciar conforto aos trabalhadores e otimizar os recursos financeiros disponíveis.

1.1 Motivação

A motivação desse trabalho é analisar métodos mais eficientes de gerenciamento do conforto térmico, com vistas a obter conforto e desempenho de trabalhadores, vezes negligenciadas, devido ao alto custo de investimento inicial e energético de sistemas tradicionais.

1.2 Objetivo

Esse trabalho tem como propósito definir as melhores faixas de aplicação dos métodos de climatização *spot cooling* e volume total. Para tal, são elaborados uma calculadora de gasto energético do *spot cooling* em linguagem Visual Basic for Applications e um cálculo de carga térmica para o método de volume total.

O ambiente a ser utilizado como referência é um galpão, que reflete a realidade da construção industrial brasileira, localizado na cidade do Rio de Janeiro. Que foi escolhida por enfrentar problemas com as altas temperaturas confrontadas com a atividade produtiva.

Tal estudo se justifica para que se possibilite a comparação dos dados gerados por cada sistema, no intuito de descobrir sua melhor aplicação. Através dessa análise, será possível escolher o sistema de climatização mais adequado de acordo com a densidade populacional.

1.3 Metodologia

A metodologia do trabalho consiste inicialmente na avaliação das normas de conforto térmico, de forma a definir os resultados de temperatura e velocidade esperados para cada método.

Após a definição dos parâmetros de conforto a serem atingidos, inicia-se o cálculo de carga térmica do galpão modelo, combatido pelo sistema de volume total. O cálculo de carga térmica faz-se de forma individualizada, ou seja, cada carga incidente sobre o sistema é calculada separadamente. Com essa individualização do processo, é possível propor melhorias as variáveis mais deficientes e chegar a valores de carga térmica menores para cada etapa, aperfeiçoando a análise de eficiência do método. Com cada valor individual calculado, estima-se a carga térmica desse método, variando a quantidade de pessoas no seu interior, de modo a obter taxas de densidade, que permitam a comparação com o método seguinte.

Em comparação ao sistema anterior, cria-se uma ferramenta interativa, que calcula o gasto energético de todas as combinações possíveis, entre todas as variáveis que incidem sobre o projeto de um sistema do tipo *spot cooling*. Com esses resultados, identifica-se qual combinação de parâmetros atende, de maneira mais eficaz, os valores referentes ao conforto descobertos anteriormente. O produto final da análise é uma tabela que apresenta os melhores parâmetros iniciais de acordo com sua eficiência energética e o gasto anual referente a um posto de trabalho.

Com os dois métodos calculados, inicia-se a comparação. Para cada situação proposta, são elaboradas curvas correspondentes ao desempenho do sistema e, a partir destas, são feitos equacionamentos a fim de encontrar polinômios que as descrevam. Dessa forma, pode-se determinar as intersecções e estabelecer as faixas adequadas de aplicação para cada método de acordo com a quantidade de pessoas. O número analisado apresenta-se em densidade (pessoas por cem metros quadrados) para ampliar a aplicabilidade do estudo, sem restringi-lo aos parâmetros construtivos deste trabalho.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Sistema de *Spot Cooling*

Atribui-se ao conceito de climatização por *spot cooling* a aplicação de jatos de ar individuais acima dos postos de trabalho. A climatização, dessa forma, se localiza apenas no local necessário. Esse direcionamento pode ser fator viabilizador de economia energética.

O método é uma alternativa que possibilita atender normas regulamentadoras do ministério do trabalho relacionadas ao conforto térmico. A capacidade de controle e associação de fatores como velocidade e temperatura promovem o aumento da satisfação dos trabalhadores e, conseqüentemente, sua produtividade.

2.1.1 Métodos de *Spot Cooling*

Existem várias formas de se aplicar o *spot cooling*, dependendo do ambiente onde será utilizado e da carga térmica gerada pela planta fabril.

O método mais simples é a instalação de ventiladores dutados ou não, verticalmente, sobre o posto de trabalho. Esses ventiladores são acionados de forma a aumentar a velocidade do ar e assim proporcionar conforto térmico aos funcionários. Esse procedimento não tem efeito prático na redução interna da temperatura, portanto sua aplicação só é efetiva quando a temperatura interna da fábrica ou galpão já estiver de acordo com as normas vigentes.

No caso de temperaturas elevadas devido a uma alta carga térmica interna, ou seja, quando a produção de calor gerada pelos equipamentos aumenta significativamente a temperatura interna, aplica-se um método diferente. Nesse, a captação de ar dos ventiladores é feita externamente ao edifício, admitindo um ar com temperatura apropriada à premissa do projeto. Esse caso só é válido quando a temperatura externa é inferior à requerida por norma.

Já no caso mais extremo, na qual a temperatura externa supera a necessária no posto de trabalho, é preciso o uso de equipamentos de climatização, para reduzir a temperatura do ar antes de ser insuflado. Em fábricas, cuja a geração de calor interna é alta, a instalação desses condicionadores pode ser feita externamente, captando o ar em uma temperatura menor do que a interna, diminuindo os custos energéticos. (AZER, 1982)

As condições ambientais enfrentadas na cidade do Rio de Janeiro são diversas frente às estações do ano. Sendo assim, é importante a aplicação de um sistema com capacidade de modular pelos diferentes métodos apresentados.

2.1.2 ConFigurações dos Equipamentos

O projeto do sistema depende das variáveis que incidem sobre o ambiente, como densidade populacional e características construtivas da edificação. As conFigurações podem ser de acordo com os números de funcionários atendidos por máquina:

- Individual – um por máquina;
- Coletivo – mais de um trabalhador.

Os equipamentos individuais, Figura 1, podem ser fixos ou móveis, acompanhando ou não o trabalhador, e com redes de dutos ou não.



Figura 1 – Equipamento Móvel não Dutado
(AMERICOOL, LLC, 2019)

Já o coletivo, Figura 2, só tem a configuração fixa e com rede de dutos. Como o objetivo, nesse caso, é atender um maior número de pessoas, torna-se necessário uma rede de dutos para distribuir os jatos de ar pela construção, impossibilitando a movimentação do sistema. A demanda de maior potência requer maiores equipamentos, contribuindo para sua imobilidade. (AZER, 1982)

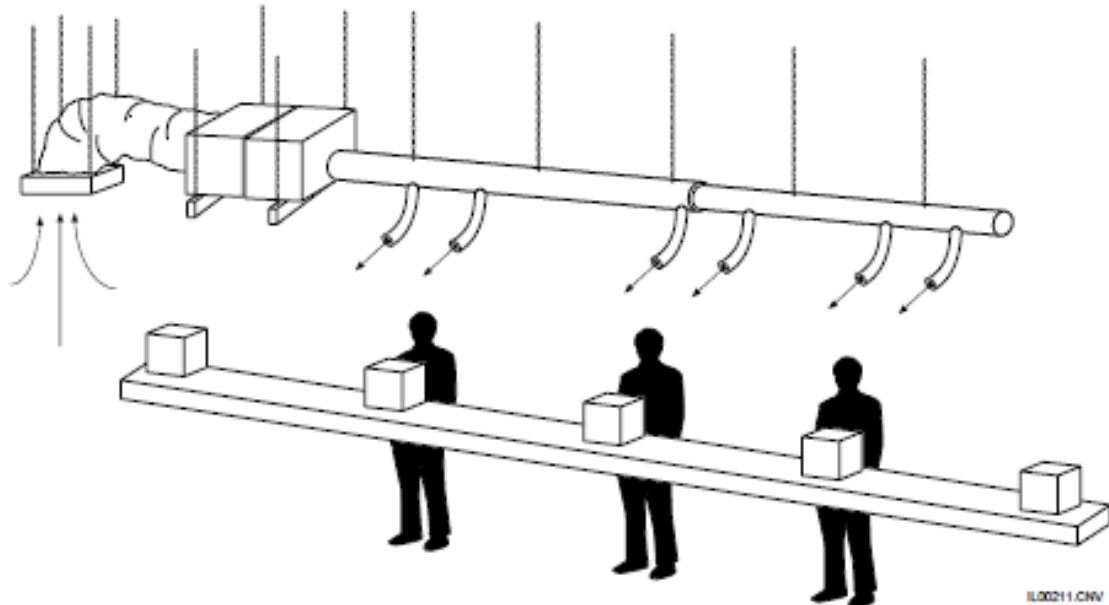


Figura 2 - Exemplo *Spot Cooling* Coletivo
(UNICO. INC, 1999)

2.1.3 Jatos de Ar

Os jatos de ar podem ser de duas formas: Isotérmicos, quando a temperatura de saída do ar do difusor é igual a do ambiente. Ou não isotérmico, quando as temperaturas são diferentes. No caso em que a temperatura de insuflação é diferente da temperatura do ambiente, o desempenho térmico do jato de ar é muito importante para o projeto do sistema. (GOODFELLOW, 2001)

O ganho de calor do jato de ar no percurso até o posto de trabalho é a energia perdida, pois como o spot cooling é um sistema aberto, a energia trocada com o ambiente não se reflete em redução de temperatura, então, quanto maior for o diferencial de temperatura entre a saída de ar e a chegada no operador, pior é a eficiência do sistema. É preciso que se estude essa perda de calor para estabelecer em qual altura, velocidade e temperatura o jato de ar precisa estar, de forma a viabilizar o sistema e comprovar seus benefícios perante o tradicional.

O jato de ar possui quatro regiões de interesse, Figura 3, que são *potential core region*, *transition zone*, *fully develop flow region* e *terminal region*. (GOODFELLOW, 2001)

A primeira zona (*potential core region*) consiste em uma região na qual a velocidade permanece constante por todo seu comprimento, formando ao seu redor um cone em que a velocidade reduz à medida que se afasta do centro. Esse fenômeno acontece devido ao menor grau de turbulência dessa parte inicial. A cada momento, o jato vai se tornando mais

turbulento, aumentando a troca térmica e reduzindo a velocidade. O comprimento dessa região varia sobre dois aspectos, o formato do difusor e a velocidade de saída. No caso dos difusores, quanto maior for o seu grau de indução, maior será sua turbulência inicial, portanto a velocidade e a temperatura terminais serão mais próximas a do ambiente. A velocidade de saída está diretamente ligada à turbulência inicial da zona, e quanto maior essa turbulência, menor será o comprimento dessa região. (MELIKOV, 1982)

A segunda é uma zona de transição (*transition zone*) na qual a temperatura e velocidade centrais do jato começam a reduzir. Isso ocorre devido ao aumento gradual da turbulência, o que também aumenta a mistura entre o ar ambiente e o ar que advém do difusor. No final dessa zona, a turbulência atinge seu valor máximo. (MELIKOV, 1982)

A terceira zona, a de fluxo turbulento estabilizado (*fully develop flow region*), é a mais importante na área da climatização, visto que é nessa etapa que o ar entra na zona de ocupação. A turbulência do sistema já atingiu o seu ápice e, como seu nome indica, se estabiliza, formando um perfil de velocidade e temperatura similar a um gráfico de probabilidade normal, tornando-se mais fácil de expressar matematicamente. (MELIKOV, 1982)

A última, chamada de zona terminal (*terminal region*), é onde a velocidade começa a cair drasticamente, devido ao alto grau de mistura com o ar ambiente. Essa região não é de extrema importância para aplicação do *spot cooling*, dado que a temperatura do ar já atingiu o valor do ambiente ao seu redor. (MELIKOV, 1982)

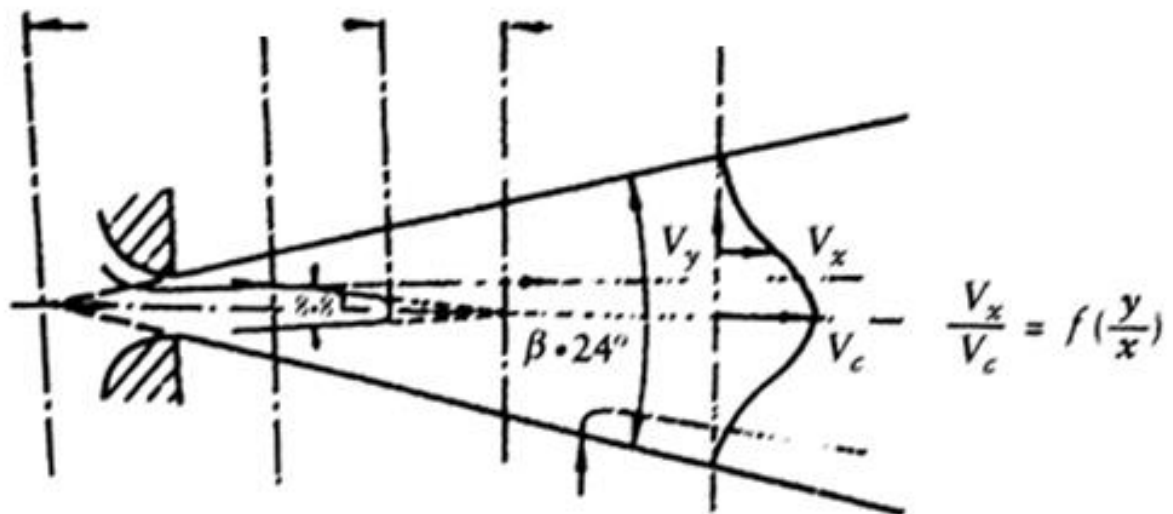


Figura 3 - Perfil de Velocidade em um Jato Turbulento (GOODFELLOW, 2001)

Para o caso específico do *spot cooling* não isotérmico, é melhor uma indução menor, já que se garante um menor ganho de calor no percurso e uma menor perda de energia cinética.

2.1.4 Comportamento do Jato de Ar – Isotérmico

Os jatos de ar isotérmicos possuem a temperatura de saída do difusor igual ao do ambiente, por isso não é necessária análise de transferência de calor do fluxo. A única variável que influencia no conforto, portanto, é a velocidade.

Para o cálculo da linha central de velocidade do jato, emprega-se-á uma equação presente no livro *Industrial Ventilation* (GOODFELLOW, 2001). A equação (1) se refere à terceira zona de fluxo turbulento desenvolvido.

$$v_x = K_1 * v_0 * \frac{\sqrt{A_0}}{x} \quad (1)$$

v_x	Velocidade na distância x (m/s)
K_1	Constante da característica dinâmica para jatos compactos
v_0	Velocidade inicial (m/s)
A_0	Área do difusor (m ²)
x	Distância percorrida pelo jato (m)

De acordo com estudos experimentais, o intervalo de K_1 , característica dinâmica para jatos compactos descarregando por saídas circulares, varia entre 5,7 e 7. (GOODFELLOW, 2001)

2.1.5 Comportamento do Jato de Ar – Não Isotérmico

Os jatos não isotérmicos possuem a temperatura de insuflação diferente do ambiente. Com isso, é preciso uma análise da perda de calor e das forças de empuxo geradas pela diferença de temperatura, para descobrir a temperatura de chegada na região de interesse.

Para uso prático, a influência das forças de flutuação na deterioração da temperatura e da velocidade em jatos verticais não isotérmicos, como proposto por Grimitlyn, pode ser explicada pelo coeficiente Kn de não isothermalidade

Para o cálculo da linha central de velocidade do jato, será usada uma equação presente no livro *Industrial Ventilation* (GOODFELLOW, 2001). As equações (2), (3) e (4) referem-se à terceira zona (de fluxo turbulento desenvolvido).

$$v_x = K_1 * v_0 * \frac{\sqrt{A_0}}{x} * K_n \quad (2)$$

$$K_n = \sqrt[3]{1 \pm 2,5 \frac{K_2}{K_1^2} * Ar_0 * \left(\frac{x}{\sqrt{A_0}}\right)^2} \quad (3)$$

$$K_2 = \sqrt{\frac{1 + Pr}{2}} * K_1 \quad (4)$$

v_x	Velocidade na distância x (m/s)
K_1	Constante da característica dinâmica para jatos compactos
v_0	Velocidade inicial (m/s)
A_0	Área do difusor (m ²)
x	Distância percorrida pelo jato (m)
K_n	Constante de não isothermalidade
K_2	Constante da característica térmica para jatos compactos
Pr	Número de Prandtl

Para o cálculo da linha central de temperatura do jato será usada a equação (5) também do livro *Industrial Ventilation* (GOODFELLOW, 2001). Essa equação é baseada em análises teóricas, Koestel, e Grimitlyns que desenvolveram equações para velocidades e temperaturas em jatos verticais de ar quente e frio.

$$\frac{\theta_x - \theta_{OZ}}{\theta_0 - \theta_{OZ}} = K_2 \frac{\sqrt{A_0}}{x} * \frac{1}{K_n} \quad (5)$$

θ_x	Temperatura na distância x (K)
θ_{OZ}	Temperatura ambiente (K)
θ_0	Temperatura de insuflação (K)
A_0	Área do difusor (m ²)
K_n	Constante de não isothermalidade
K_2	Constante da característica térmica para jatos compactos
x	Distância percorrida pelo jato (m)

As premissas para elaboração das equações anteriores podem ser resumidas da seguinte forma:

- O jato de ar frio é projetado em um volume de controle infinito de ar estagnado, velocidade próxima à zero e de temperatura uniforme;
- A única força que se opõe ao fluxo ascendente do ar frio é a força de empuxo;
- O ar carregado pelo jato tem a mesma temperatura do ambiente;
- Os perfis de velocidade e diferença de temperatura têm formas que podem ser aproximadas por uma distribuição do tipo gaussiana.

2.2 Conforto Térmico

O conforto pode ser considerado um conceito subjetivo. Mesmo que possa se relacionar com fatores físicos, também leva em conta características fisiológicas e psicológicas humanas. Os fatores físicos são aqueles mensuráveis, como por exemplo, a quantidade de calor trocada entre o ser humano e seu meio. O fator fisiológico é a resposta biológica do corpo a essas trocas. Enquanto os fatores psicológicos são as percepções do indivíduo a respeito do seu meio e a forma como ele as experienciou em situações passadas.

Os estudos atuais de conforto térmico visam estabelecer relações entre diversas variáveis relativas ao mesmo, de forma a definir uma correlação entre esses diversos fatores, e assim, formular métodos de cálculos para analisar as diferentes situações enfrentadas pelo homem.

As razões principais para esses estudos são a satisfação, sensação de conforto térmico; a performance, nível de produtividade gerada pelo conforto; e a economia energética, estabelecer condições favoráveis sem gastar recursos em excesso.

Um aspecto importante de citar, quando se trata de conforto térmico, é a variação biológica existente entre os diversos indivíduos. Ambientes, com um número de pessoas maior que um, estão sujeitos ao desconforto. Os métodos estudados visam criar condições adequadas para a maior quantidade de pessoas possíveis.

A compreensão menos abstrata do que seria o conforto térmico é necessária para o início da formulação matemática do mesmo. O conceito de neutralidade térmica ajuda nessa tentativa de materialização. Neutralizar é equacionar o balanço térmico entre o ambiente e o homem, fazendo com que se estabeleça o equilíbrio termodinâmico, ou seja, que todo o calor produzido pelo homem seja absorvido pelo ambiente. (LAMBERTS, 2016)

De acordo com a norma de conforto ASHRAE Standard 55 (ASHRAE 55, 2004), o conceito de conforto térmico é “O estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Para o professor Roberto Lamberts (LAMBERTS, 2016), a neutralidade térmica é “O estado físico no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo seja trocado em igual proporção com o ambiente ao seu redor, não havendo acúmulo de calor e nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante”. Essas duas definições ajudam a racionalizar o conceito, porém não se pode negligenciar outros fatores nessa formulação, como por exemplo, o papel da temperatura radiante no conforto.

Mesmo com a neutralidade térmica, em que todo o calor produzido é dissipado, a diferença brusca de temperatura entre as superfícies pode gerar a sensação subjetiva de desconforto. Para exemplificar essa condição, tem-se a experiência dos astronautas na estação espacial, que, pela ausência de atmosfera e conseqüentemente de matéria, a troca de calor entre o astronauta e o espaço é exclusivamente por radiação, portanto toda a superfície exposta à luz do sol estará ganhando energia a temperaturas muito altas, enquanto a parte não exposta estará perdendo calor. Mesmo que a equação de balanço de energia seja neutra, as sensações de calor e frio serão sentidas ao mesmo tempo, sendo assim o conforto térmico nunca será alcançado (ONE STRANGE ROCK, 2018).

2.3 Transferência de Calor

A transferência de calor é feita a partir de três fenômenos: condução, convecção e radiação.

A condução é a troca de calor entre sólidos em contato. O sólido mais quente cede energia ao mais frio, buscando assim o equilíbrio termodinâmico.

A convecção é um fenômeno que promove a dilatação térmica do fluido devido ao ganho de calor, com isso o fluido menos denso tende a ascender e o mais denso (mais frio) a ocupar o espaço deixado. Com isso, garante-se uma troca do fluido quente pelo frio de maneira natural, permitindo a troca térmica constante.

A radiação é a troca de calor por diferença de temperatura entre sólidos não encostados, por meio de ondas de calor. A superfície mais fria recebe calor da mais quente, sempre em busca do equilíbrio.

O calor pode ser de duas naturezas: latente e sensível.

O calor latente é a energia necessária para mudança de fase; já o sensível é a energia necessária para que a temperatura aumente. No caso prático do ar condicionado, o calor latente é o ganho de vapor de água cedido pelo homem, enquanto o sensível é a energia cedida para o aumento da temperatura do ar seco. (LAMBERTS, 2016)

Devido a essa diferença entre calores, pode-se acrescentar um quarto fenômeno de troca térmica, a evaporação. Mesmo que esse evento não se caracterize como um fenômeno de transferência de calor, e sim como uma causa dos outros, no caso prático da climatização, é importante analisá-lo separadamente, já que possui um papel chave no conforto humano.

A evaporação é um fenômeno que ocorre por meio do ganho de calor latente, ou seja, uma mudança de fase. É a liberação de calor por meio da transferência de massa e energia

com o ambiente. Esse fenômeno acontece devido a diferença de pressão de vapor entre a superfície e o meio.

A pressão de vapor é a pressão que as partículas gasosas exercem na superfície do líquido. Dois fatores que influenciam na pressão de vapor são a umidade e temperatura. Quanto maior for a quantidade de vapor de água por quilo de ar seco, menor será a evaporação, assim como, quanto maior for a temperatura, menor será a pressão.

O homem troca o calor com o ambiente por dois meios, a pele e a respiração.

Pela pele, ocorrem quatro fenômenos:

- **Condução:** Troca de calor entre o homem e algum sólido, seja pelos pés em contato com o chão, seja pela superfície da cadeira quando se encontra sentado.
- **Convecção:** Troca de calor entre a pele e o ar.
- **Radiação:** Troca de calor por diferença de temperaturas das superfícies do ambiente e da pele.
- **Evaporação:** O corpo, por meio das glândulas sudoríparas, promove a liberação do suor na pele. Esse suor evapora pela diferença da pressão de vapor e permite a troca de calor e massa do corpo com ambiente. (LAMBERTS, 2016)

Pela respiração, ocorrem dois fenômenos:

- **Convecção:** Troca de calor entre os pulmões e o ar respirado.
- **Evaporação:** O ar, ao entrar nos pulmões, promove a evaporação da umidade presente, liberando, assim, calor latente ao ambiente.

A Figura 4 mostra os mecanismos de troca de calor entre o homem e o ambiente.

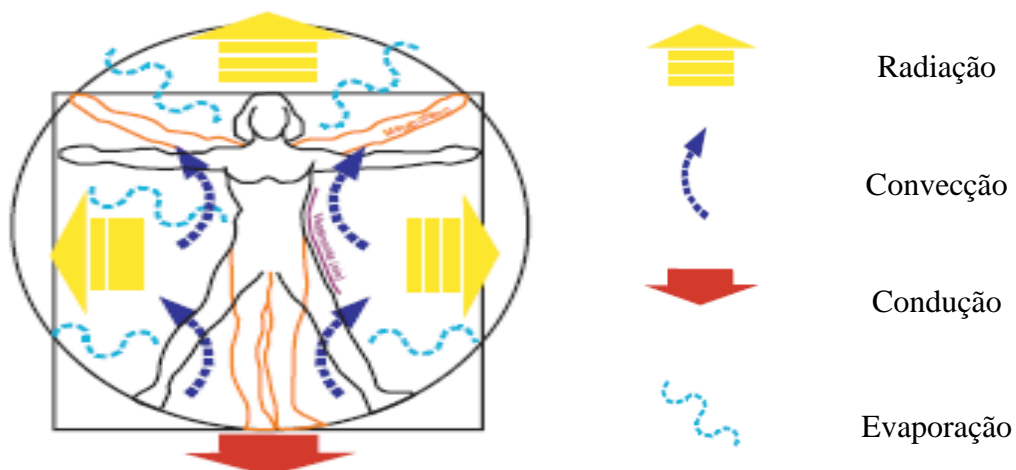


Figura 4 - Representação Esquemática da Fisiologia Humana e a Trocas Térmicas (LAMBERTS, 2016)

Esses mecanismos termorreguladores do corpo visam manter a temperatura ideal, que gira em torno de 36 °C. Para o equacionamento do balanço de energia, estabelece-se que não ocorra acúmulo de calor, esse estado é conhecido como estado estacionário e busca a neutralidade térmica. (LAMBERTS, 2016)

O calor gerado pelo ser humano provém do seu metabolismo e quanto maior for a intensidade da atividade exercida, maior será a taxa de produção de calor metabólica.

A equação de troca térmica humana, presente na (ISO 7730, 2005), consiste em:

$$M - W = Q_{SK} + Q_{RES} = (C + R + E_{SK}) + (C_{RES} + E_{RES}) \quad (6)$$

M	Taxa metabólica de produção de calor (W)
W	Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo (W)
Q_{SK}	Taxa total de perda de calor pela pele (W)
Q_{RES}	Taxa total de perda de calor pela respiração (W)
$C + R$	Perda de calor sensível pela pele (W)
E_{RES}	Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W)
E_{SK}	Perda de calor latente pela pele, através da evaporação (W)

A equação do balanço térmico trabalha com as unidades por unidade de área, dessa forma é possível aplicá-la para diferentes áreas corporais. Para isso, aplica-se a expressão da área, da pele, de DuBois, que utiliza a massa e a altura do corpo humano para estimar a área da pele:

$$A_{DU} = 0,202 * m^{0,425} * l^{0,725} \quad (7)$$

A_{DU}	Área superficial do corpo
m	Massa do corpo
l	Altura do corpo

O sistema de *spot cooling* utiliza a velocidade do ar como uma aliada na busca do conforto térmico. Quanto maior a velocidade, maior é a taxa de renovação da camada limite. Nesse caso, a camada limite é a camada de ar em contato com a superfície do corpo. Esse ar, devido a sua proximidade com a pele, tende a saturar de umidade e calor, dificultando a troca de calor entre o indivíduo e o ambiente. Com uma maior taxa de renovação, essa troca é facilitada. Dado isso, o *spot cooling* pode ser caracterizado como um método de climatização convectivo. (MELIKOV, 1982)

2.4 Normas

O Anexo III da NR 15 (Norma Regulamentadora de Atividades e Operações Insalubres) constante da Portaria 3.214 do Ministério do Trabalho tem por finalidade determinar limites de tolerância para exposição ao calor permitidas nos locais de trabalho, a fim de verificar possíveis condições de insalubridade.

A NR 15 define três tipos de atividades, Leve - Moderada - Pesada, que são definidas na Tabela 1:

Tabela 1 - Taxas de Metabolismo por Tipo de Atividade
(NR15-ANEXO3, 2015)

Tipos de atividade	Kcal/h
Sentado em repouso	100
Trabalho leve	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas	150
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços	150
Trabalho moderado	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas	180
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, com alguma movimentação	175
De pé, trabalho moderado, em máquina ou bancada, com alguma movimentação	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar	300
Trabalho pesado	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos	440
Trabalho fatigante	550

A Tabela 2 da NR 15 relaciona o regime de trabalho com o tipo de atividade e seus limites.

Os limites máximos tolerados para os três tipos de atividades são baseados no índice IBUTG (índice de bulbo úmido termômetro de globo).

O IBUTG é obtido através de cálculo matemático que considera os seguintes fatores que influenciam na sobrecarga térmica: temperatura do ar, umidade relativa, calor radiante, tipo de atividade, regime de trabalho, taxa de metabolismo e tempo de exposição. (NR15-ANEXO3, 2015)

Tabela 2 – Temperaturas Máximas (NR15-ANEXO3, 2015)

Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	Tipo de atividade (temperatura em °C)		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos de trabalho 15 minutos de descanso	30,1 a 30,5	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos de trabalho 30 minutos de descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos de trabalho 45 minutos de descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

Para ambientes internos ou externos sem carga radiante, tem-se a equação (8):

$$IBTUG = 0,7 t_{BU} + 0,3 t_{BS} \quad (8)$$

IBTUG Índice de temperatura de bulbo úmido e termômetro de globo

t_{BU} Temperatura de bulbo úmido

t_{BS} Temperatura de bulbo seco

Já para ambientes com carga radiante, tem-se a equação (9):

$$IBTUG = 0,7 t_{BU} + 0,1 t_{BS} + 0,2 t_g \quad (9)$$

IBTUG Índice de temperatura de bulbo úmido e termômetro de globo

t_{BU} Temperatura de bulbo úmido

t_{BS} Temperatura de bulbo seco

t_g Temperatura média radiante

A norma internacional ASHRAE 55 – *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* tem como propósito especificar a combinação de fatores termais internos, como fatores individuais que irão produzir uma condição ambiental aceitável para a maioria dos ocupantes do espaço.

Os fatores ambientais que influem nessa avaliação são a temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade. Já os individuais são a atividade exercida e a vestimenta.

Com o objetivo de avaliar o efeito das inúmeras variáveis relacionadas ao conforto, a norma internacional ISO7730, Ambientes Térmicos Moderados – Determinação dos Índices PMV e PPD e Especificações para Conforto Térmico, utiliza dois métodos qualitativos baseados no balanço de calor.

O PMV, voto médio estimado, é um índice que prevê o valor médio de um grande grupo de pessoas segundo a escala de sensações de 7 pontos (ASHRAE). Essa escala, Figura 5, possui sete opções que vão de muito frio a muito quente.

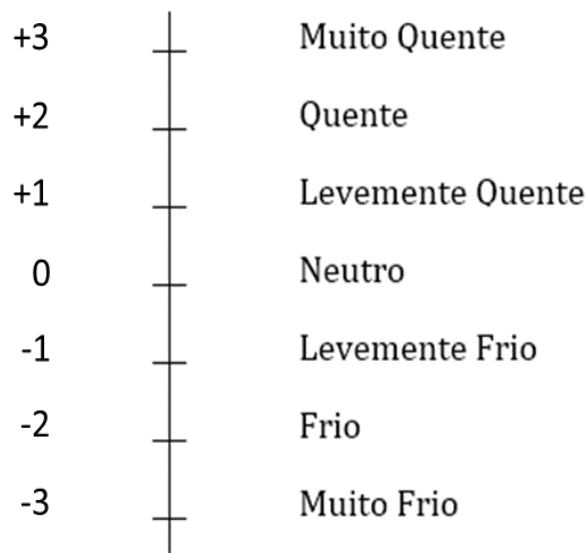


Figura 5 - Escala de Sensações (ASHRAE 55, 2004)

A formulação matemática que representa os resultados obtidos nesse experimento é:

$$PMV = (0,303 e^{-0,036 M} + 0,028) \cdot L \quad (10)$$

PMV	Voto médio estimado
M	Taxa metabólica de produção de calor (W)
L	Carga térmica atuante sobre o corpo (W)

Devido à grande variação biológica humana, nem todos os ocupantes responderão bem a essa formulação matemática do conforto, com isso pode-se estimar o percentual de pessoas insatisfeitas, PPD.

$$PPD = 1000 - 95 \cdot e^{-[0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2]} \quad (11)$$

PMV	Voto médio estimado
PPD	Percentual de pessoas insatisfeitas

2.5 Carga Térmica

Trata-se da estimativa de todas as cargas de climatização resultantes dos fluxos de calor incidentes nos ambientes a condicionar, ou gerados em seus interiores, assim como outras cargas externas aos ambientes e que incidam sobre o condicionador de ar. O somatório destas cargas de climatização, denomina-se carga térmica.

Existem diversos métodos para cálculo da carga de climatização, de acordo com a bibliografia ou a norma adotada. Entretanto, quanto maior a capacidade do sistema, mais apurado deve ser o método de cálculo, considerando-se que erros podem resultar em custos de instalação excessivos.

O projeto de um sistema de condicionamento de ar de volume total se inicia com a determinação da sua capacidade ou potência. Esse dimensionamento será útil para a comparação desse método frente ao *spot cooling*. (ASHRAE, 2005)

2.5.1 Cálculo para a Hora de Pico (CLTD/CLF)

O cálculo é realizado manualmente ou por meios computacionais, para apenas uma hora do dia de um mês de verão (hora de pico ou hora máxima), e destina-se a estimativas de carga para um único ambiente, ou um número não muito elevado de ambientes, preferencialmente pertencentes a uma mesma zona térmica e beneficiados por um condicionador. Esse método considera o horário de pico, impossibilitando o cálculo da carga anual. Sendo assim, ele não atende a proposta do projeto. (ASHRAE, 2005)

2.5.2 Cálculo Hora a Hora (TETD/TA, TFM, HB ou RTS)

Para sistemas de grande porte, as cargas máximas dos ambientes ocorrem em horários e meses diversos devido à incidência solar diferenciada, a não simultaneidade dos fluxos de calor incidentes ou ao denominado *schedule* de operação dos ambientes. Nestes casos, as cargas dos diversos ambientes são calculadas hora a hora, sendo utilizados programas computacionais de forma a facilitar as totalizações e a estimativa da carga máxima simultânea

do sistema ou carga de bloco, necessária ao dimensionamento dos sistemas de grande porte. O cálculo manual é complexo, e em alguns casos praticamente impossível. (ASHRAE, 2005)

2.6 Psicrometria

A psicrometria é a ciência que envolve propriedades termodinâmicas do ar úmido e os efeitos dessa atmosfera úmida nos materiais e no conforto humano. (HOWELL, 2005). Entende-se por condicionamento de ar o processo de tratamento do ar atmosférico, em ambientes fechados, no qual são controladas simultaneamente a temperatura, umidade e movimentação. Denomina-se ar condicionado o resultado desse processo.

A psicrometria é de extrema importância para a análise do processo de condicionamento. Na carta psicrométrica, Figura 6, pode-se observar o percurso do processo, possibilitando a obtenção de importantes variáveis para a análise do conforto e da eficiência.

Abaixo, as variáveis que se podem observar na carta:

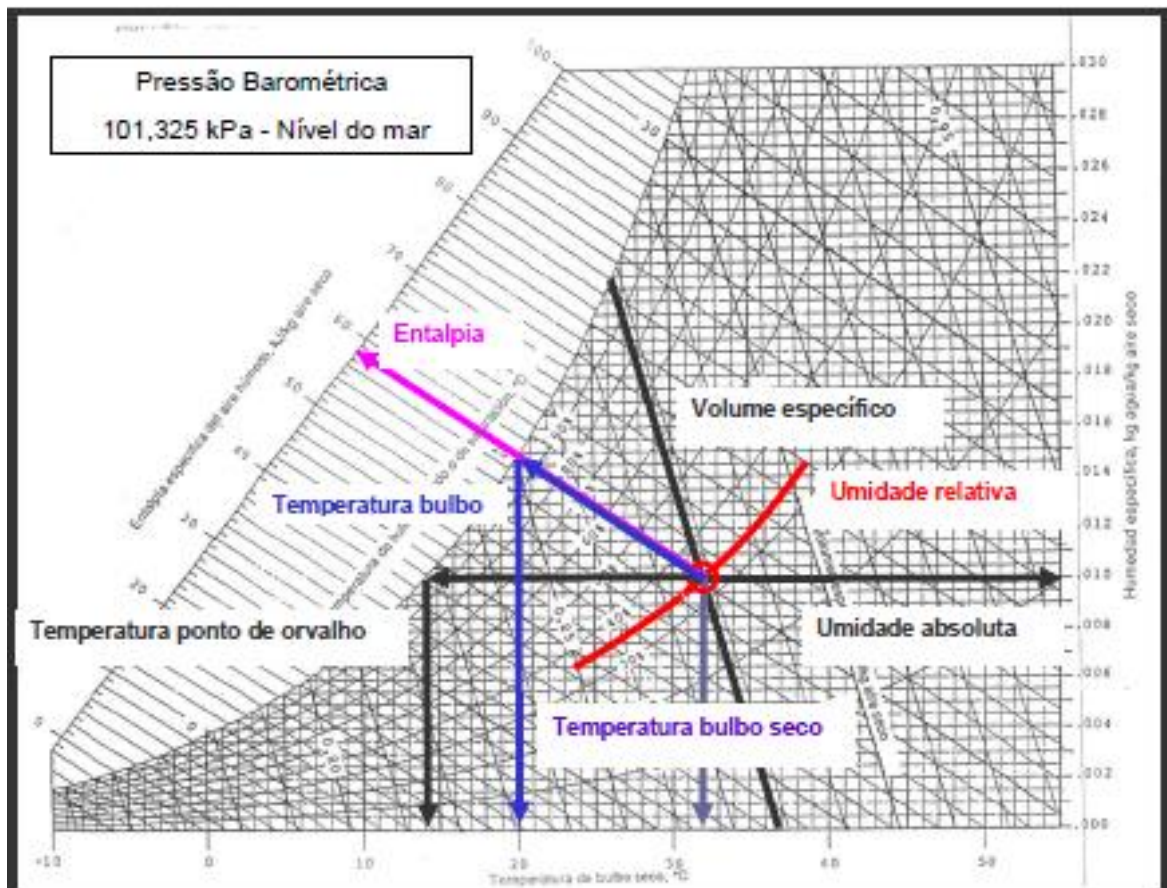


Figura 6 – Carta Psicrométrica
(PINHEIRO, 2017)

Temperatura de bulbo seco: É a temperatura do ar registrado por um termômetro comum. (HOWELL, 2005).

Temperatura de bulbo úmido: É a temperatura na qual a água líquida ou sólida, por evaporação em ar úmido a uma dada temperatura de bulbo seco e umidade específica, pode levar o ar à saturação adiabaticamente. (HOWELL, 2005)

Entalpia: é quantidade de energia contida em uma substância podendo sofrer variações mediante reações químicas, sua variação quantifica a energia gasta ou ganha em um processo.

Umidade específica: É a relação entre a massa de água, contida no ar, por um quilo de ar seco, equação (12).

$$W = \frac{m_w}{m_a} \quad (12)$$

W	Umidade específica
m_w	Massa de vapor de água (kg)
m_a	Massa de ar seco (kg)

Temperatura de ponto de orvalho: É a temperatura na qual se atinge a capacidade máxima de mistura entre vapor de água e ar seco (saturação). Assim, o vapor se condensa retornando ao estado líquido. (HOWELL, 2005) Essa temperatura é importante quando o assunto é o *spot cooling*. O risco de condensação, quando se trata de um sistema aberto, sem controle das demais variáveis do ambiente, é muito alto. Esse é um dos motivos pelo qual a temperatura de insuflação no *spot cooling* não pode ser tão baixa como nos sistemas tradicionais.

2.7 Parâmetros Ambientais

O cálculo de eficiência energética necessita da definição dos parâmetros ambientais que incidem sobre o sistema. Para esse projeto, definiu-se a aplicação no Rio de Janeiro, uma cidade litorânea localizada na região sudeste do Brasil, que possui um clima tropical com temperaturas e umidade altas por quase todo o ano, Figura 7. Na caracterização do bioclima carioca, pode-se utilizar a classificação feita pelo o comitê de construção civil brasileiro em conjunto com a ABNT.

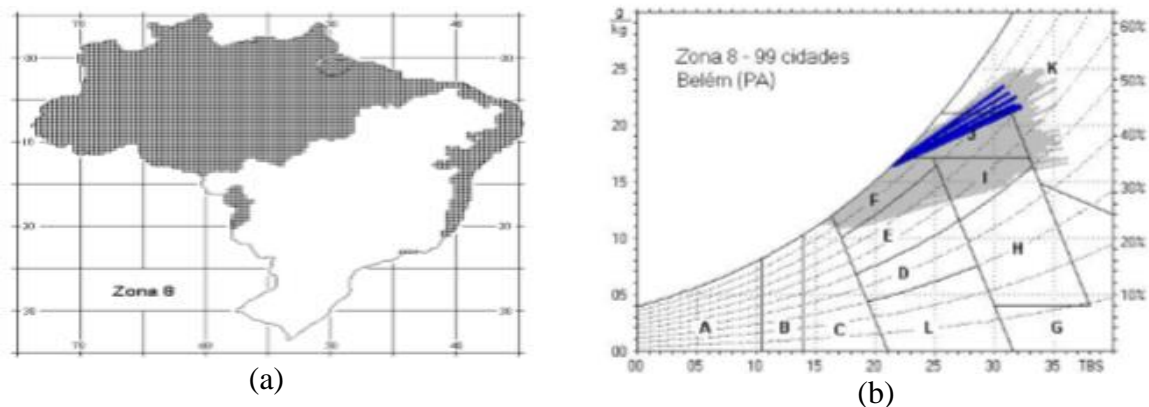


Figura 7 - (a) Zona Climática 8 e (b) Carta Psicrométrica Zona 8 (ABNT, 2003)

Para simulação de eficiência do sistema de *spot cooling*, será adotada a metodologia de estimativa da média anual das temperaturas. O método aplicado será em regime permanente baseado no método BIN (THRELKELD, 1998). Nesse, quantifica-se o número de horas anuais de recorrência de condições climáticas por intervalos discretos (*BINs*) de temperatura. Cada intervalo BIN contém o número médio de horas de ocorrência da temperatura considerada naquele intervalo (TBS ou TBU), durante o período de tempo considerado (mensal, anual, etc.) (BARBOSA, 2011).

Com esse balanço será possível analisar a performance dos sistemas de acordo com a variação das condições externas. Essas condições serão baseadas nos dados estatísticos BIN do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), **Tabela 3**, que foram reunidos pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina (LAMBERTS, 2005).

Tabela 3 - Condições Externas Adotadas para os Dias-Tipo (°C)

HORA	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA	
	TBS	TBU	TBS	TBU	TBS	TBU	TBS	TBU
8:00	29,7	24,8	19,8	17,9	16,1	15,2	24,5	22,7
9:00	31,4	25,1	21,4	19,4	16,6	15,4	25,5	23,7
10:00	33,0	25,5	22,8	20,7	17,2	15,8	26,2	23,5
11:00	33,8	25,4	23,9	21,4	17,6	16,0	26,8	23,6
12:00	34,5	25,8	24,6	21,8	18,0	16,2	26,8	23,8
13:00	35,3	26,4	24,8	21,6	18,6	16,4	26,9	23,7
14:00	35,8	26,4	25,1	21,5	18,6	16,6	26,7	23,4
15:00	35,9	26,4	25,0	21,1	18,5	16,5	26,5	23,2
16:00	35,4	26,2	24,5	20,4	18,4	16,5	25,8	22,5
17:00	34,0	25,9	24,0	20,2	18,1	16,4	25,8	22,5
18:00	32,6	25,7	23,3	19,8	17,6	16,2	25,3	22,3
Nº Dias ANO-TIPO	50		110		30		175	

Os dados compilados levam em consideração um dia típico de cada estação climática. Serão levados em conta somente os dados referentes ao horário comercial de 08:00 até 18:00 horas, para que assim a análise seja mais precisa e só compute temperaturas referentes ao período de funcionamento dos sistemas.

2.8 Trabalhos de Referência

O projeto de comparação de sistema de volume total, amplamente difundido, com o estudo do *spot cooling* foi inspirado em artigos relatores do assunto descritos abaixo.

2.8.1 Diretrizes Básicas para Projeto de *Spot Cooling* – N. Z. Azer ASHRAE *Transactions*

Esse artigo foi publicado na octogésima oitava ASHRAE *Transactions*, revista especializada no ramo de climatização. O artigo tem como objetivo definir os métodos de projeto de um sistema de *spot cooling* e ele é dividido em duas partes.

A primeira parte trata de avaliar a aceitabilidade do ambiente para tal método, principalmente analisando os efeitos que os jatos de ar podem propiciar aos ocupantes desses postos de trabalho. Isso é feito por meio do cálculo de conforto térmico.

Com as variáveis de conforto definidas, a segunda parte do artigo parte para a modelagem dos jatos, onde são apresentados quatro diferentes exemplos de aplicação e calculado seus parâmetros necessários.

A conclusão do trabalho é de que o *spot cooling* pode ser eficiente em diversas operações industriais. Porém, em casos onde há uma grande quantidade de radiação, vinda tanto de fatores externos quanto de equipamentos que liberem muito calor, é necessário o uso de isolamentos térmicos ou escudos radiantes ao redor do trabalhador.

Outra conclusão do artigo é o uso de jatos verticais ao operador, visto que essa configuração permite que, mesmo com difusores de menor diâmetro, seja possível expor toda a superfície do corpo ao jato de ar frio. Por essa razão, foi adotada essa configuração no projeto.

Os modelos de jatos de ar utilizam o modelo de Koestel, modelo bastante similar ao utilizado neste projeto, porém, na conclusão do trabalho, o autor esclarece que as equações podem ficar mais precisas com a evolução das constantes.

2.8.2 *Spot Cooling* como uma Alternativa ao Climatização Convencional – Kuwait Institute for Scientific Research

Esse artigo foi apresentado na VI Conferência Mundial de Energias Renováveis e tem como objetivo analisar o uso do *spot cooling* em pequenas unidades industriais no Kuwait.

Os parâmetros adotados no artigo foram apresentados em faixas, a vazão de ar entre 1360 e 1700 m³/h, temperatura de insuflação entre 18 e 20°C, 25,4 cm de diâmetro do difusor e altura de 1,2 metros acima do posto e considerado como temperatura ambiente de 40 a 54°C. Os resultados obtidos no posto de trabalho variaram de 25 a 30°C. Para esses cálculos, foram utilizadas as equações apresentadas no artigo *Design Guidelines for Spot Cooling*, apresentado anteriormente.

O artigo utiliza para a comparação com o método de *spot cooling* uma estimativa de carga térmica por área do método de volume total. O valor estimado é de 0,25 KW/m². Como conclusão do projeto chegou-se à taxa de 6 pessoas por 100 m² como o máximo para a eficiência do *spot cooling*.

Como o Brasil, o Kuwait, também está sujeito a altas temperaturas, principalmente durante o verão, mas ao contrário do Brasil, por se localizar em uma região com o clima desértico, a umidade relativa do ar costuma ser relativamente mais baixa. O Rio de Janeiro se localiza em uma região tropical, o que promove uma grande quantidade de chuvas e temperaturas de bulbo úmido mais alto.

A NR15, Anexo 3, utiliza como base para o cálculo de IBTUG e seus limites na norma australiana, *Australian Council of Trade Unions* de 1982. Com isso, os valores máximos de IBTUG adotados no artigo são os mesmos deste trabalho.

Como o IBTUG tem uma grande parcela de sua composição à temperatura de bulbo úmido, os resultados apresentados pelo trabalho serão relativamente inferiores a realidade brasileira. Outra questão importante é a condensação. Com a temperatura de ponto de orvalho mais alta no Kuwait, é possível insuflar com temperaturas mais baixas, o que promove a redução da vazão de ar necessária, reduzindo assim os componentes de ventilação e distribuição.

Capítulo 3

Desenvolvimento

3.1 Critérios Exigidos por Normas

Para a análise dos sistemas, serão adotadas duas normas, a NR 15, norma brasileira de condições de trabalho, e a norma ASHRAE 55, focada em conforto térmico.

3.1.1 Dissipação Térmica Humana

Para o cálculo do calor dissipado por cada pessoa, será utilizada como base a Tabela 1 referente à NR 15. Os valores considerados serão de acordo com trabalho moderado e pesado.

Os valores contidos na norma referem-se ao calor total dissipado pelo corpo humano. Porém, para o cálculo de carga térmica, é necessário que o calor total seja subdividido entre calor sensível e latente.

A (16401, 2017), referente à elaboração de projetos de ar condicionado, apresenta uma tabela com a dissipação típica em diferentes atividades, discrepando os calores em latente e sensível. Isso possibilita o cálculo da média do fator de calor sensível (FCS) em atividades de alta demanda energética, Tabela 4, que se assemelham a trabalhos de alta intensidade, como na NR.

Tabela 4 – Dissipação Térmica Humana – Fator de Calor Sensível

NBR 16401- PARTE 1			
CT(W)	CS(W)	CL(W)	FCS
220	80	140	36%
250	90	160	36%
295	110	185	37%
425	170	255	40%
470	185	285	39%
MÉDIA			38%

Com esse fator de calor sensível médio, é possível estimar os valores de calor sensível e latente da NR 15, e assim, calcular a sua dissipação, Tabela 5.

Tabela 5 – Calor Latente e Sensível Dissipado

NR 15 - ANEXO 3				
CT(kcal/h)	CT(W)	FTCS	CS(W)	CL(W)
180	209,4	0,38	79,6	129,8
220	255,9	0,38	97,2	158,6
300	348,9	0,38	132,6	216,3
440	511,7	0,38	194,5	317,3

Taxa metabólica (MET) é a taxa de transformação de energia química em calor e trabalho mecânico, realizados por atividades metabólicas de um indivíduo por unidade de área da pele. A energia produzida por unidade de área da pele de uma pessoa sentada em repouso é igual a 58,2 W/m² (ASHRAE 55, 2004).

De acordo com a equação da área da pele equação (7) e com o fato de o peso médio e altura dos brasileiros serem de 68,6 kg e 165 cm (IBGE, 2008/2009), tem-se como área da pele para uma pessoa média no Brasil:

$$m = 68,6 \text{ kg}$$

$$l = 1,65 \text{ m}$$

$$A_{DU} = 0,202 * 68,6^{0,425} * 1,65^{0,725}$$

$$A_{DU} = 1,75 \text{ m}^2$$

Com essa área, descobre-se o valor médio dissipado por uma pessoa brasileira em Watts com a taxa metabólica referente a um MET:

$$1 \text{ MET} = W/m^2 * A_{DU}$$

$$1 \text{ MET} = 58,2 * 1,75 = 101,85 \text{ W}$$

Com todos os cálculos apurados, obtém-se o valor de MET referente ao regime de trabalho da NR 15 e adequado a realidade da população brasileira, Tabela 6.

Tabela 6 –Calor Total e seu Metabolismo Equivalente (MET)

NR 15 - ANEXO 3	
CT (kcal/h)	MET
180	1,77
220	2,16
300	2,94
440	4,32

3.1.2 Norma de Conforto ASHRAE 55

A norma 55 é a que regulamenta o conforto térmico. Ela equaciona o conforto por meio de dois índices, o PMV (voto médio estimado) e PPD (percentual de pessoas insatisfeitas). Essa norma define uma faixa de valores aceitáveis dessas duas variáveis: o PMV deve ser de -0,5 a 0,5 e o PPD até 10%.

Como o objetivo da análise é atender esta norma na realidade brasileira, com o menor gasto energético possível, foi adotado o índice 0,5 do PMV, que significa ter limite de calor aceito pela norma e índice de 10% das pessoas insatisfeitas. Com esta configuração, as temperaturas de aceitação do sistema são maiores, conseqüentemente os gastos energéticos são menores.

Com o auxílio de uma ferramenta de cálculo *CBE Thermal Comfort Tool*, Figura 8, é possível estabelecer os números de temperatura e velocidade do ar aceitáveis, essa ferramenta consiste na criação de uma faixa de aceitação do conforto dentro de uma carta psicrométrica.

Os parâmetros necessários para o cálculo são:

- Temperatura do ambiente
- Velocidade do ar
- Umidade relativa
- Taxa metabólica
- Tipo de roupa (Valor fixado em 0,7 que corresponde a vestimenta típica de fabril, macacão.)

Para o cálculo, foram utilizados os valores metabólicos referentes à NR 15 , Tabela 6.

Os métodos de climatização possuem formas distintas de alcançar seus resultados, isso porque o método do *spot cooling* não controla todas as variáveis do sistema, como a umidade, por exemplo. Com isso, é preciso considerar a umidade como perto de suas piores condições

para o conforto, portanto foi considerado o valor de 80% de umidade relativa, Figura 9 - MET 1,77(a) MET 2,16(b) MET 2,94(c) MET 2,16(d).

Para encontrar a temperatura, foi arbitrada uma velocidade de 2m/s, visto que o *spot cooling* é um método de climatização convectivo, que alia altas velocidades a temperaturas mais altas, a fim de propiciar o conforto.

Figura 8 – Parâmetros a serem inseridos no CBE (TYLER, 2017)

Com intuito de definir as temperaturas adequadas, foram testadas diversas opções, até que fossem encontradas as temperaturas abaixo, Tabela 7.

Tabela 7 – Temperaturas de Conforto *Spot Cooling*

Gráfico	MET	TBS
a	1,77	28,6
b	2,16	27,6
c	2,94	25,5
d	4,32	21,9

As temperaturas escolhidas atendem as premissas do projeto que consistem em PMV de 0,5 e PPD de 10%. Como pode ser observado abaixo, Figura 9, o ponto escolhido para cada metabolismo se encontra no limite de aceitação da norma - a faixa de aceitação consiste na região azul do gráfico.

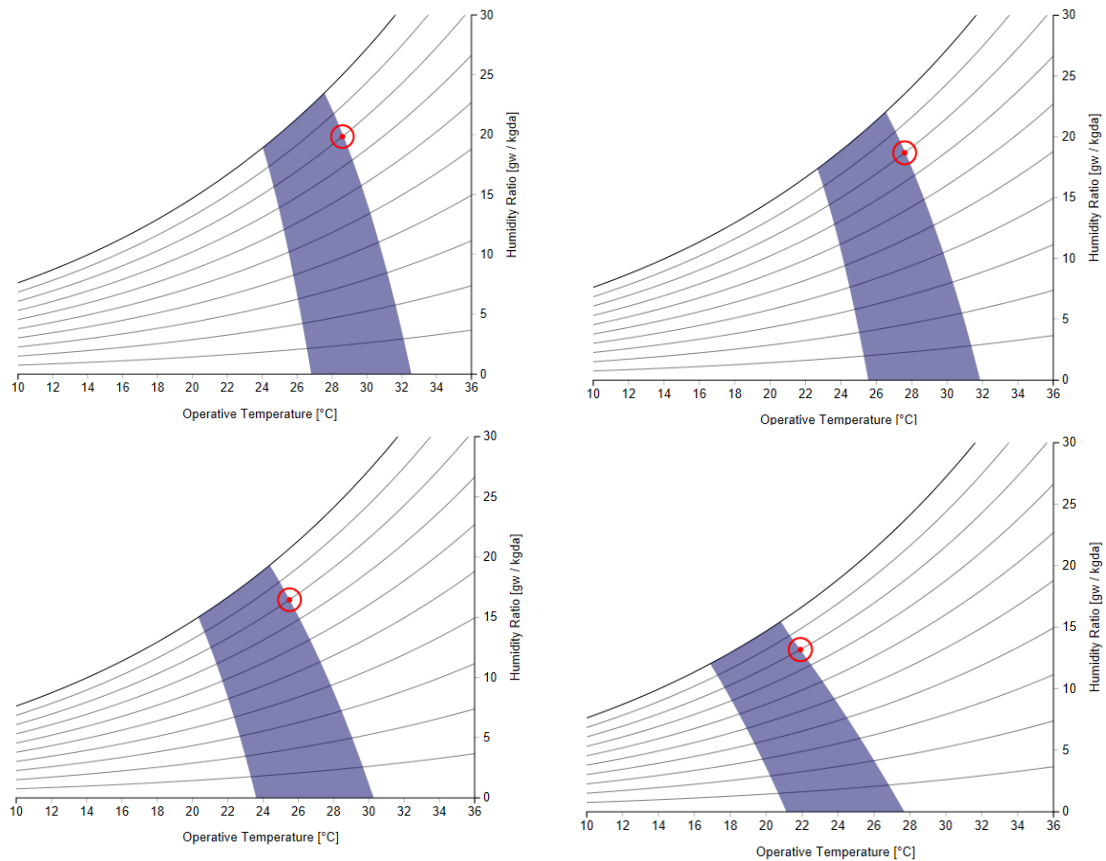


Figura 9 - MET 1,77(a) MET 2,16(b) MET 2,94(c) MET 2,16(d) (TYLER, 2017)

Já para o sistema tradicional de climatização, os parâmetros são controlados, a umidade normalmente utilizada é de 50% e a velocidade de chegada do jato de, no máximo, 1,0 m/s.

Da mesma forma, foram testadas diversas opções até que fossem encontradas as temperaturas abaixo, Tabela 8.

Tabela 8 – Temperatura de Conforto Volume Total

Gráfico	MET	TBS
a	1,77	28,9
b	2,16	27,7
c	2,94	25,3
d	4,32	21,0

As temperaturas escolhidas atendem as premissas do projeto de PMV a 0,5 e PPD a 10%. Como pode ser observado abaixo, Figura 10, o ponto escolhido para cada metabolismo

se encontra no limite de aceitação da norma - a faixa de aceitação consiste na região azul do gráfico.

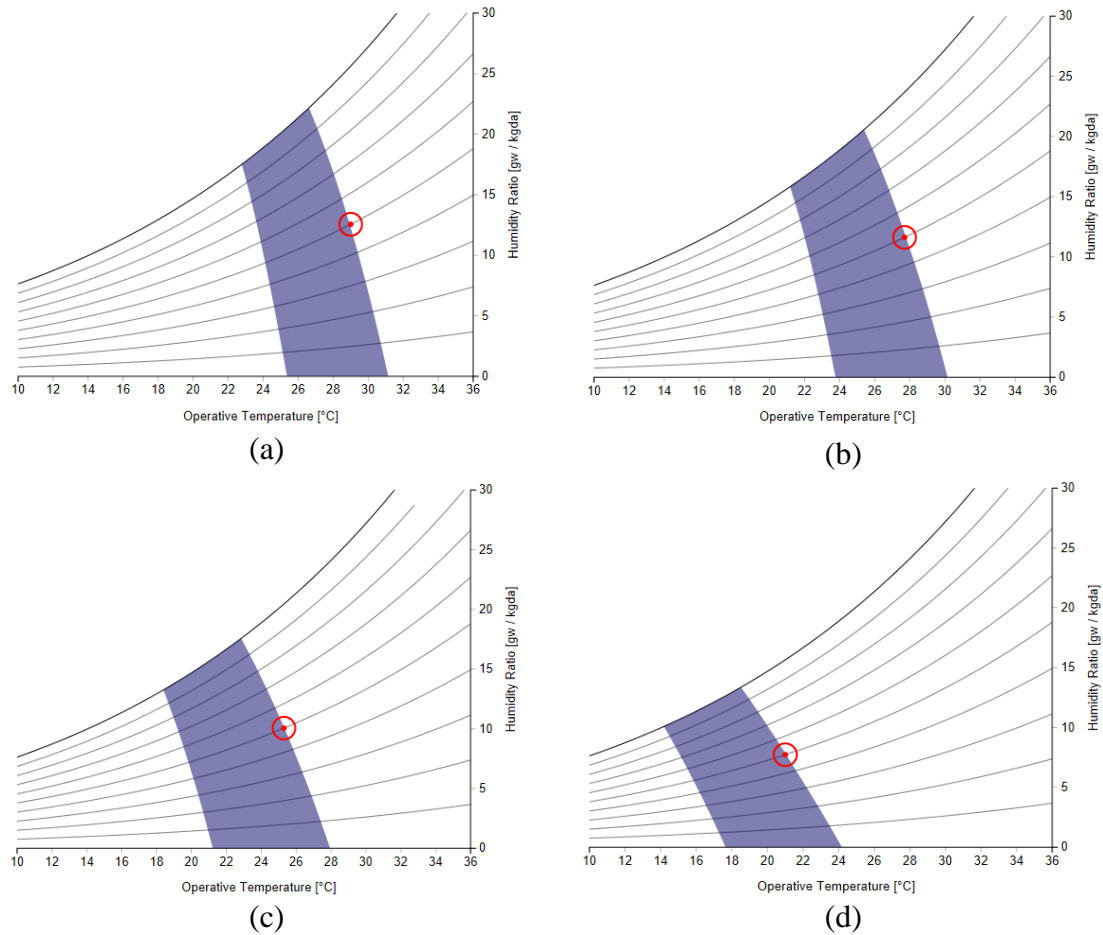


Figura 10 - MET 1,77(a) MET 2,16(b) MET 2,94(c) MET 2,16(d) (TYLER, 2017)

3.1.3 Parâmetros NR 15

Os parâmetros da NR 15 são 26,7 IBTUG para trabalho moderado e 25,0 IBTUG para trabalho pesado. De acordo com a equação (8), considerando para o *spot cooling* a umidade relativa de 80% e para volume total, de 50% temos:

$$IBTUG_m = 26,7 C$$

$$26,7 = 0,3 * 28,68 + 0,7 * 25,85$$

$$26,7 = 0,3 * 32,62 + 0,7 * 24,18$$

$$IBTUG_m = 25,0 C$$

$$25,0 = 0,3 * 26,9 + 0,7 * 24,18$$

$$26,6 = 0,3 * 30,68 + 0,7 * 22,56$$

Com as equações acima, chega-se as temperaturas abaixo, Tabela 9, que serão utilizadas no decorrer do trabalho.

Tabela 9 – Temperaturas Máximas para Regulamentação

N15				
	MODERADO		PESADO	
UR%	TBS	TBU	TBS	TBU
80%	28,68	25,85	26,90	24,18
50%	32,62	24,18	30,68	22,56

3.2 Estudo de Caso – Método de Volume Total

Com a proposta de comparação entre uma solução altamente difundida de climatização (volume total) com o método de *spot cooling*, é necessário definir o estudo de caso. Serão, então, avaliados os fatores necessários para a determinação da eficiência da aplicação do método de volume total.

Para estabelecer um método de comparação, foi escolhido um galpão modelo, com características pré-definidas para o cálculo da carga térmica. Dessa forma, é necessária a determinação destas características, sendo elas:

- Localização geográfica;
- Características construtivas do edifício;
- Potência dissipada pela iluminação do galpão;
- Renovação de ar;
- Dissipação térmica gerada pelas pessoas.

Serão calculadas cargas parciais individuais de cada parâmetro e somadas ao final dessa análise, com a intenção de estabelecer o gasto anual energético.

É proposto uma condição inicial para cada parâmetro, de forma a refletir a realidade da construção brasileira. Caso se encontrem valores muito elevados de carga térmica, será

proposta uma melhoria ao parâmetro deficitário. Com isso será possível analisar o método de volume total mais eficiente energeticamente, fazendo justiça a comparação ao spot cooling.

3.2.1 Localização Geográfica

O galpão possui duas fachadas para o exterior com incidência solar, uma no sentido Nordeste e outra no Noroeste. As outras fachadas são ocupadas uma por uma área administrativa refrigerada e por um acervo não refrigerado. Portanto, só há fluxo de calor pelas fachadas com incidência solar e vindo das áreas não refrigeradas.

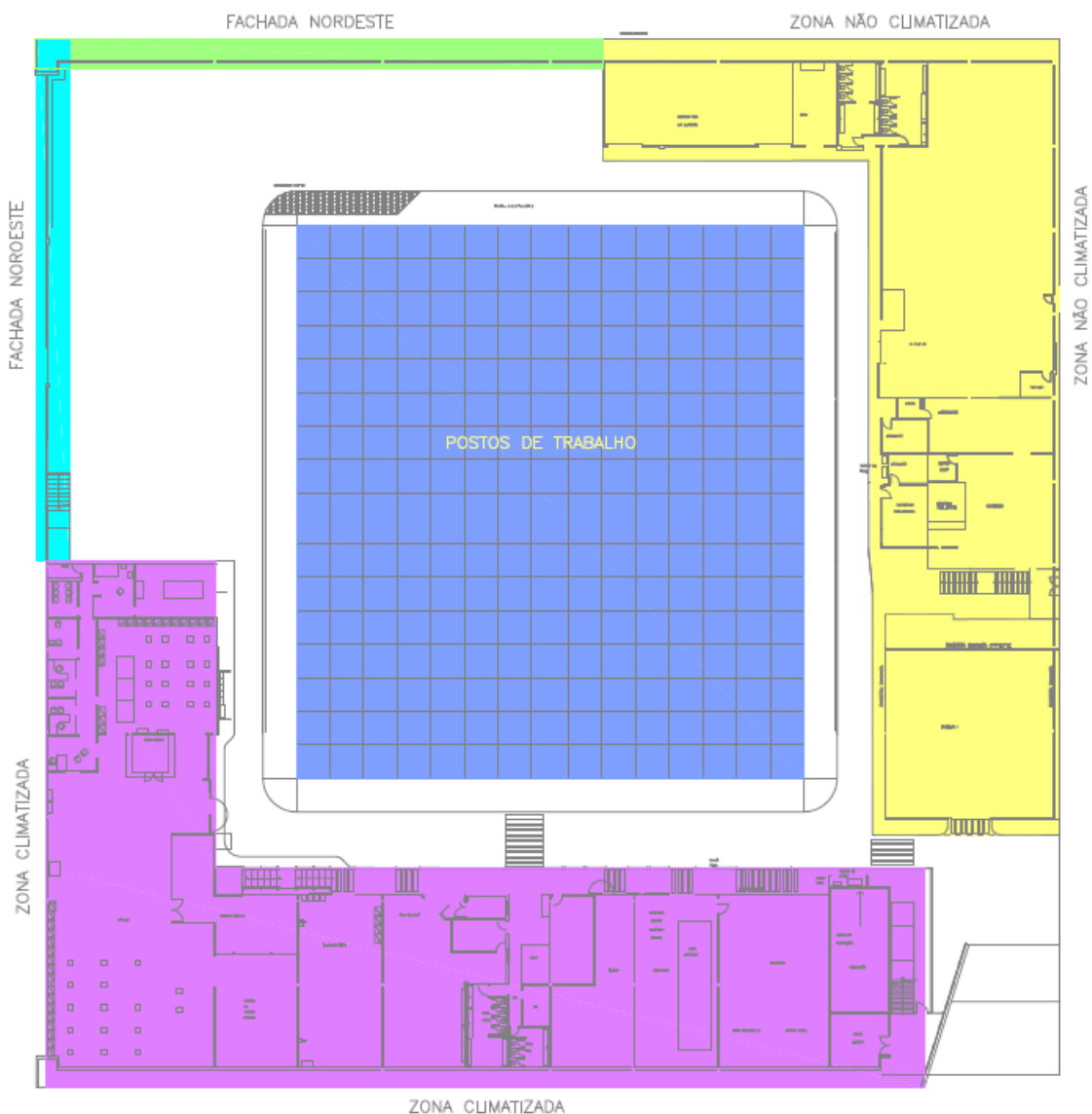


Figura 11 - Planta Baixa Galpão Modelo

O galpão possui uma área total de 4560 m² e um pé direito de 8 metros. Para o cálculo das cargas externas, é utilizado um programa de cálculo de carga térmica hora-hora,

denominado HAP (*Hourly Analysis Program*). Para tanto, são necessárias as áreas das fachadas e do telhado para calcular o fluxo de calor advindo dos mesmos:

Tabela 10 – Áreas com Fluxo de Calor

FACHADA	ÁREA(m ²)
Fachada nordeste	390
Fachada noroeste	400
Partição não refrigerada	780
Telhado	4560

3.2.2 Parâmetros Construtivos

Como premissa construtiva, será adotada parede em blocos de concreto com dois furos na configuração 20x40x20 cm (altura, largura, profundidade). Esse bloco possui 2 cm de espessura, o que gera dois vãos internos com dimensões 20x14x16 cm (altura, largura, profundidade).

Segue Figura 12 ilustrativa do bloco.

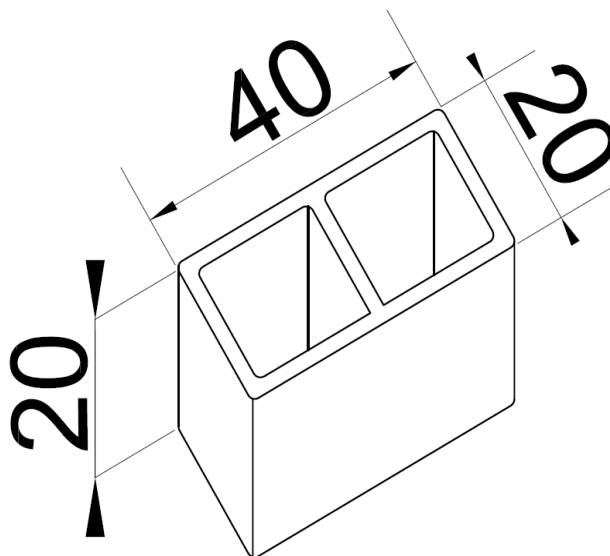


Figura 12 – Bloco de Concreto

Para calcular o fluxo de calor pelas paredes, é preciso encontrar a transmitância térmica dos materiais de composição. A tabela 11 possui os valores necessários para o cálculo da transmitância térmica.

Tabela 11 – Densidade Aparente (ρ), Condutividade Térmica (λ) e Calor Específico (c) de Materiais (LAMBERTS, 2005)

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Concreto normal	2200-2400	1,75	0,84
Ar	1,2754	0,3125	1,005

No cálculo da resistência térmica de superfícies, leva-se em conta a resistência térmica superficial gerada pelo ar ao redor da mesma, para isso a NBR 16401 elaborou uma tabela, Tabela 12, com esses valores, que dependem se a superfície é externa ou interna e a direção do fluxo de calor.

Tabela 12 - Resistência Térmica Superficial Interna Externa (LAMBERTS, 2005)

Rsi(m ² * K)/W			Rse(m ² * K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Cálculo de transmitância térmica da parede do galpão:

$$Ra = \frac{e}{\lambda} \quad (13)$$

$$Ut = \frac{1}{Rt} \quad (14)$$

$$Ra = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,2}{1,75} = 0,1143 \text{ (m}^2 \text{ * K)/W}$$

$$Rar = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,16}{0,3125} = 0,512 \text{ (m}^2 \text{ * K)/W}$$

$$Rb = \frac{e}{\lambda} + Rar = \frac{0,04}{1,75} + 0,512 = 0,535 \text{ (m}^2 \text{ * K)/W}$$

$$Aa = 0,2 * 0,02 = 0,004 \text{ m}^2$$

$$Ab = 0,2 * 0,14 = 0,034 \text{ m}^2$$

$$Rc = \frac{3 * Aa + 2 * Ab}{\frac{3 * Aa}{Ra} + \frac{2 * Ab}{Rb}} = \frac{3 * 0,004 + 2 * 0,034}{\frac{3 * 0,004}{0,1143} + \frac{2 * 0,034}{0,535}} = 0,3447 \text{ (m}^2 \text{ * K)/W}$$

$$R_{si} = 0,13 (m^2 * K)/W$$

$$R_{se} = 0,04 (m^2 * K)/W$$

$$R_{t_1} = R_{si} + R_c + R_{se} = 0,13 + 0,3447 + 0,04 = 0,5147 (m^2 * K)/W$$

$$U_{t_1} = \frac{1}{R_{t_1}} = 1,9429 W/(m^2 * K)$$

Ra	Resistência térmica do concreto ($m^2 * K)/W$
Rar	Resistência térmica da câmara de ar ($m^2 * K)/W$
e	Espessura (m)
λ	Condutividade térmica ($W/(m.K)$)
Rb	Resistência térmica do centro do bloco ($m^2 * K)/W$
Rc	Resistência térmica do bloco de concreto ($m^2 * K)/W$
U_{t_1}	Transmitância térmica final $W/(m^2 * K)$

Outra premissa construtiva é a telha de concreto em configuração W com 5 cm de espessura de concreto, conforme Figura 133.

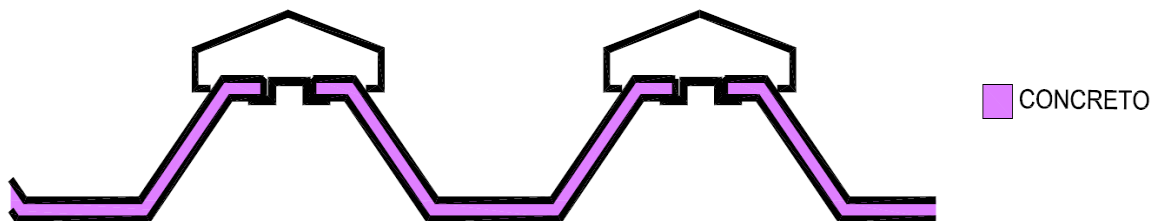


Figura 13 – Telha em Concreto ConFiguração W

Para calcular a fluxo de calor pelo telhado, é preciso encontrar a transmitância térmica, conforme equações (13) e (14).

Cálculo de transmitância térmica do telhado sem isolamento, U_{t_2} :

$$R_d = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,05}{1,75} = 0,0286 (m^2 * K)/W$$

$$R_{si} = 0,17 (m^2 * K)/W$$

$$R_{se} = 0,04 (m^2 * K)/W$$

$$Rt_2 = Rsi + Rd + Rse = 0,17 + 0,0286 + 0,04 = 0,2386 (m^2 * K)/W$$

$$Ut_2 = \frac{1}{Rt_2} = 4,1911 W/(m^2 * K)$$

Rd	Resistência térmica do concreto ($m^2 * K)/W$
e	Espessura (m)
Ut ₂	Transmitância térmica final $W/(m^2 * K)$

3.2.2.1 Resultados Parciais

Com os dados já apresentados, é possível calcular resultados parciais de carga térmica proveniente de cargas externas. Esses cálculos foram feitos para uma temperatura interna de 27°C. Esses resultados são calculados de forma a identificar os fatores do sistema que mais afetam o a carga térmica, Tabela 13.

Tabela 13 - Carga Térmica Parcial Construtiva

Carga térmica Jan 1400 – Hora de pico	
Carga térmica total	583,235 kW
Transmissão pelas paredes	10,378 kW
Transmissão pelas partições	11,167 kW
Transmissão pelo telhado	561,690 kW

A partir deste resultado parcial, é possível observar que a carga que mais incide sobre o sistema provém do telhado.

$$A_w + A_p = 790 + 780 = 1570 m^2$$

$$A_t = 4560 m^2$$

$$A_{total} = 4560 + 1570 = 6130 m^2$$

$$\%_{At} = \frac{4560}{6130} * 100 = 74,39\%$$

$$\%_{w+p} = 25,61\%$$

$$q_w + q_p = 10,378 + 11,167 = 21,545 kW$$

$$q_t = 561,69 \text{ kW}$$

$$\%_{qt} = \frac{561,69}{583,235} * 100 = 96,3\%$$

A_w	Área das paredes (m^2)
A_p	Área das partições (m^2)
A_t	Área do telhado (m^2)
A_{total}	Área total de fluxo de calor (m^2)
$\%_{At}$	Percentual da área do telhado sobre a área total
$\%_{w+p}$	Percentual da área das paredes e das partições sobre a área total
q_w	Fluxo de calor pela parede (kW)
q_p	Fluxo de calor pelas partições (kW)
q_t	Fluxo de calor pelo telhado (kW)
$\%_{qt}$	Percentual do fluxo do telhado sobre o fluxo total

Como pode ser observado, o telhado representa 74,39% da área com fluxo de calor, porém representa 96,3% de todo calor incidente.

3.2.2.2 Proposta de Melhoria

Visando a redução dessa taxa, é proposto o uso de um material isolante para compor as camadas do telhado e assim diminuir sua transmitância térmica.

Nessa nova análise, foram escolhidos dois materiais isolantes, a lã de vidro e a espuma de poliuretano, com valores característicos listados na tabela abaixo.

Tabela 14 – Densidade Aparente (ρ), Condutividade Térmica (λ) e Calor Específico (c) de Materiais (LAMBERTS, 2005)

Material	ρ (kg/m^3)	λ ($W/(m.K)$)	c ($kJ/(kg.K)$)
Lã de vidro	10-100	0,045	0,75
Espuma rígida de poliuretano extrudado	30-40	0,030	1,67

Outra medida que pode ser adotada e que possui grande eficiência no isolamento é o uso de câmaras de ar, tabela 15. De acordo com a norma NBR 16401:

Tabela 15 - Resistência Térmica de Câmara de Ar não Ventiladas, com Largura muito maior do que a Espessura. (LAMBERTS, 2005)

Natureza da superfície da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar em cm	Resistência térmica R_{ar} m ² .k/W		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,17	0,21
Superfície de alta emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,63

E é a emissividade hemisférica total.
Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e prevê-se que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano de telhas; desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies – a inferior – continuará limpa, sem poeira.
Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela

Para avaliar a desempenho dos isolantes e a redução de transmitância térmica gerada, foi elaborado um gráfico, Figura 14, relacionando a espessura do isolamento e o valor da transmitância em $W/(m^2 * K)$, a partir dos dados obtidos em uma tabela.

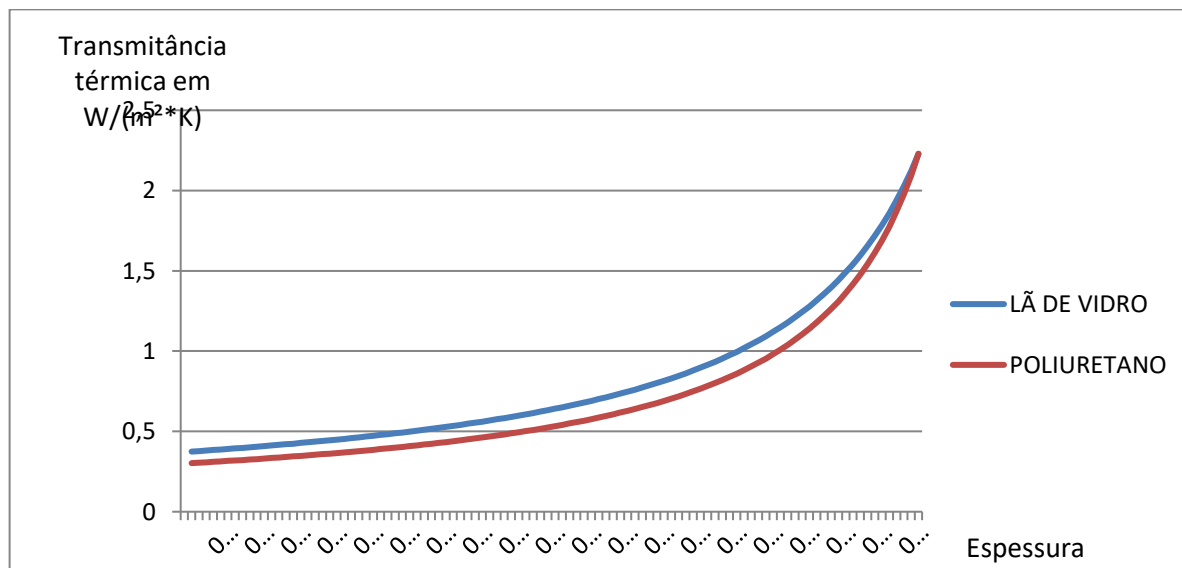


Figura 14 – Gráfico de Desempenho dos Isolantes

Com o gráfico, observa-se que o ganho inicial de redução da transmissão é bem alto, porém vai atenuando com o aumento da espessura. Por meio de uma pesquisa de fornecedores, os tamanhos comerciais de lã de vidros disponíveis são: 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm e 10 cm.

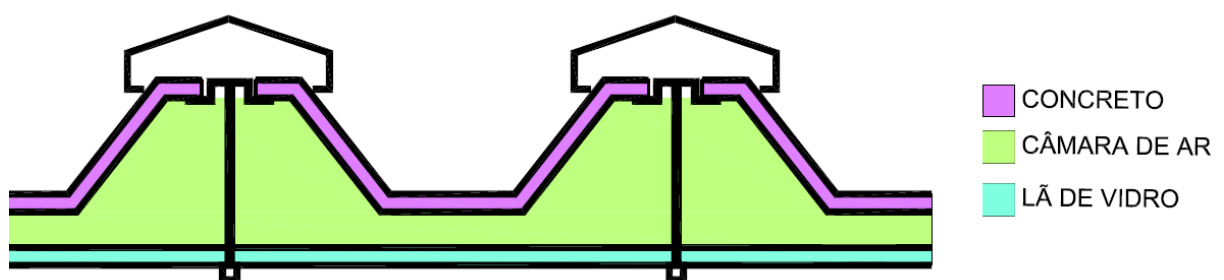
Tabela 16 – Diferença Percentual Entre os Isolantes

Espessura (m)	Lã de Vidro Transmitância Térmica (W/(m ² *K))	Poliuretano Transmitância Térmica (W/(m ² *K))	Diferença entre os isolantes
0,055	0,599	0,495	21%
0,054	0,607	0,502	21%
0,053	0,615	0,509	21%
0,052	0,623	0,517	21%
0,051	0,632	0,525	20%
0,050	0,641	0,533	20%
0,049	0,650	0,541	20%
0,048	0,660	0,549	20%
0,047	0,670	0,558	20%
0,046	0,680	0,567	20%
0,045	0,690	0,577	20%

Em análise pautada numa pesquisa de mercado, percebe-se que a melhora proporcionada pela utilização de poliuretano, que é cerca de 20% melhor, não justifica a relação de custo-benefício de sua aplicação, em comparação a lã de vidro.

Por conseguinte, a escolha do isolamento térmico do telhado é o de lã de vidro com espessura de 5 cm, visto que o desempenho dessa espessura já se mostra eficiente no isolamento.

A nova configuração do telhado, Figura 15:

**Figura 15 - Nova ConFiguração do Telhado Proposta**

Segue o cálculo de transmitância térmica do telhado com isolamento de lã de vidro 5 cm e câmara de ar de 10 cm conforme equações (13) e (14):

$$R_{ar} = 0,21 (m^2 * K)/W$$

$$Re = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,05}{0,045} = 1,1111 (m^2 * K)/W$$

$$Rt_3 = Rsi + Rd + Re + Rar + Rse = 0,17 + 0,0286 + 1,1111 + 0,21 + 0,04 \\ = 1,5597 (m^2 * K)/W$$

$$Ut_3 = \frac{1}{Rt_3} = 0,6411 W/(m^2 * K)$$

Re	Resistência térmica do isolamento ($m^2 * K)/W$
Rar	Resistência térmica da câmara de ar ($m^2 * K)/W$
e	Espessura (m)
λ	Condutividade térmica ($W/(m.K)$)
Ut_3	Transmitância térmica final $W/(m^2 * K)$

Nova carga térmica de pico com a implementação do isolamento térmico e da câmara de ar não ventilada, tabela 17:

Tabela 17 – Carga Térmica de Pico depois da Aplicação de Isolamento

Carga térmica Jan 1400 – Hora de pico	
Carga térmica total	88,652kW
Transmissão pelas paredes	11,477 kW
Transmissão pelas partições	11,517 kW
Transmissão pelo telhado	65,658 kW

$$q_t = 65,658kW$$

$$\%_{qt2} = \frac{65,658}{88,652} * 100 = 74,06\%$$

q_{t2}	Fluxo de calor pelo telhado (kW)
$\%_{qt2}$	Percentual do fluxo do telhado sobre o fluxo total

Com o isolamento térmico, pode-se equalizar o percentual de área com fluxo de calor ($\%_{At}$) e o percentual de fluxo de calor ($\%_{qt2}$). Desse modo, o calor externo age sobre a carga térmica de forma uniforme, evitando, assim, a diferença de temperaturas radiantes, o que atrapalharia no conforto térmico.

3.2.2.3 Resultados Finais

Após a aplicação das melhorias propostas ao telhado, foi calculado o valor referente a cada hora típica mensal, APÊNDICE A.

Tabela 18 tabela 18. Os resultados do programa se encontram no APÊNDICE A.

Tabela 18 – Consumo Típico Mensal

TEPERATURA	32.6 °C	30.7 °C	28.9 °C	27.7 °C	25.3 °C	21.0 °C
JAN	400.6	535.8	657.90	748.8	931	1317.5
FEV	190.3	234.7	276.30	301.4	409.5	790.2
MAR	174.6	215.5	253.10	276.2	365.3	750.1
ABR	147.4	181.2	212.50	231.5	271.1	657.5
MAI	152.8	188.1	220.70	240.4	282.3	676.4
JUN	33.3	38.7	42.40	42.8	29.1	246.1
JUL	130.7	160.4	188.00	204.2	214.7	609.1
AGO	152	187.2	219.40	239.2	285.9	694.3
SET	184.6	228	267.90	292.6	415.7	802.4
OUT	203.9	252	296.60	313.6	491.5	883.7
NOV	215.1	265.5	313.00	340.5	525.2	919.2
DEZ	307.9	451.7	586.70	672.3	859.2	1254.5
ANUAL	68796	88164	106035	117105	152415	288030

Como forma de ilustrar o perfil de carga anual de acordo com os meses do ano, foi elaborado o gráfico abaixo, Figura 16. Nele é possível observar a diferença drástica entre a aplicação de diversos *setpoints* de temperatura e a influência das estações do ano no consumo energético.

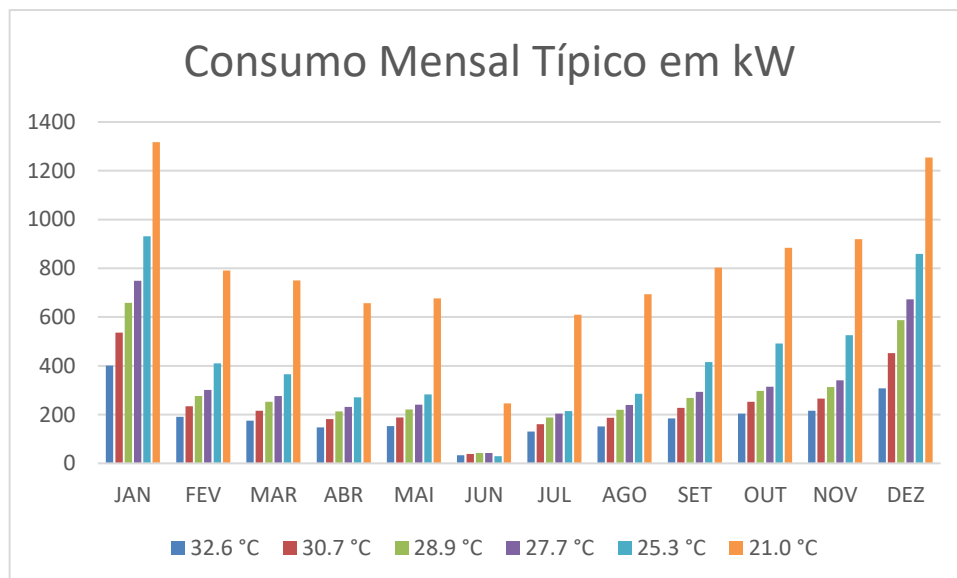


Figura 16 – Gráfico do Consumo Típico Mensal

3.2.3 Carga de Iluminação

Para estimar a carga de iluminação do galpão, é utilizada a NBR 5413 – Iluminação de Interiores. A norma é dividida em três classes A, B e C. O galpão se enquadra em duas dessas classes a A e B, pois possui setores com aplicações distintas.

O setor de montagem e acabamento se enquadra na classe B, pois é uma área de trabalho. Já a parte de armazenagem e depósito, na classe A, pois é um recinto não usado para trabalho contínuo (depósito).

Tabela 19 - Iluminâncias por Classe de Tarefas Visuais (ABNT 5413, 1992)

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

A potência dissipada, de acordo com a NBR 16401, por uma lâmpada fluorescente com o nível de iluminação de 750 lux é de 17 W/m², já para 150 lux é de 10 W/m².

Com isso, para a área do setor de montagem será utilizado o fator de 17 W/m². Já para o setor de depósito, 10 W/m².

3.2.3.1 Resultados Parciais

O galpão modelo de área total de 4560 m² é subdividido em dois setores, o de montagem e o de armazenamento. O primeiro setor, onde se realiza o trabalho, possui 2250 m² e o depósito, 2310 m². E, a partir daí, determina-se a carga térmica de iluminação.

$$Pd_1 = Pd_l * \text{área1} = 17 * 2250 = 38250 \text{ W}$$

$$Pd_2 = Pd_l * \text{área2} = 10 * 2310 = 23100 \text{ W}$$

$$Pd_t = Pd_1 + Pd_2 = 38165 + 23100 = 61350 \text{ W}$$

Pd_1	Potência dissipada do setor de montagem (W)
Pd_l	Potência dissipada da lâmpada por área (W/m ²)
área1	Área do setor de montagem (m ²)
área2	Área do setor de armazenamento (m ²)
Pd_2	Potência dissipada do setor de armazenamento (W)
Pd_t	Potência dissipada total (W)

3.2.3.2 Proposta de Melhoria

Em uma pesquisa feita com o objetivo de comparar a dissipação térmica de diferentes lâmpadas (DALLANBRIDA, 2015), chegou-se à conclusão de que a lâmpada LED libera 43% menos calor do que uma lâmpada fluorescente de mesma capacidade luminosa.

$$Pd_{led} = Pd_{flo} * 0,57 = 34969,5 \text{ W}$$

Pd_{led}	Potência dissipada pela lâmpada LED (W)
Pd_{flo}	Potência dissipada pela lâmpada fluorescente (W/m ²)

Com isso, se a iluminação do galpão fosse do tipo LED, a carga térmica de iluminação teria uma diminuição de 26380,5 W, o que significa uma carga total de 34969,5 W.

3.2.4 Qualidade do Ar Interior – Ar exterior

Para garantir a qualidade do ar no interior de um edifício, é vital garantir um fluxo constante de ar exterior, ou seja, o equipamento de ar condicionado precisa admitir no seu retorno uma mistura de ar, vindo do ambiente e do exterior. Dessa forma, pode se controlar as taxas de poluentes dentro dos ambientes. A norma ASHRAE *Standard* 62.1 define os parâmetros mínimos de renovação de ar para manutenção da qualidade do ar interior. “O propósito dessa norma é especificar a taxa mínima de renovação do ar exterior, com o objetivo de garantir a qualidade do ar interno aceitável para ocupação humana, de forma a minimizar efeitos adversos a saúde” (ASHRAE STANDARD 62.1, 2007).

O galpão modelo possui dois ambientes com características distintas, sendo eles um depósito e uma oficina para montagem dos objetos. A norma também é dividida em duas taxas, pela quantidade de ocupantes e pela área, tabela 20.

Tabela 20 – Taxa de Renovação de Ar (ASHRAE STANDARD 62.1, 2007)

Categoria de Ocupação	Taxa de renovação de ar por pessoa (L/s)	Taxa de renovação de ar por m ² (L/s)
Oficinas	5	0,9
Depósito	-	0,3

Com essas informações, é calculada a carga térmica de ar exterior gerada pela taxa de renovação anual, referente à área necessária para o cumprimento dessa norma.

$$Q_{AE} = \text{ÁREA} * q_{m^2}$$

$$Q_o = 2250 * 0,9 = 2025 \text{ L/s}$$

$$Q_d = 2310 * 0,3 = 693 \text{ L/s}$$

$$Q_{ae} = 2025 + 693 = 2718 \text{ L/s}$$

Q_{AE} Vazão de ar exterior (L/s)

Q_o Vazão de ar exterior da oficina (L/s)

Q_d Vazão de ar exterior do depósito (L/s)

q_{m^2} Vazão mínima de ar exterior por área (L/s*m²)

Com o valor de vazão mínima necessária, pode-se fazer o cálculo da carga térmica tanto latente quanto sensível com base nas condições ambientais do Rio de Janeiro, já apresentada anteriormente (Tabela 3).

No cálculo de calor sensível, foi considerado como massa específica do ar o valor de 1,2 kg/m³ de forma constante, visto que a variação de sua massa específica em valores de temperatura relativamente próximos se torna desprezível.

$$CS = \rho * Q * \Delta T \quad (15)$$

<i>CS</i>	Calor sensível (W)
ρ	Massa específica do ar (kg/m ³)
ΔT	Diferencial de temperatura (°C)
<i>Q</i>	Vazão de ar (L/s)

Já para o cálculo do calor latente, foi adotado o valor de 2501 kJ/kg, para calor latente específico da água, com isso:

$$CL = L * \rho * Q * \Delta w \quad (16)$$

<i>CL</i>	Calor latente (W)
ρ	Massa específica da água (kg/m ³)
Δw	Diferencial de massa de vapor de água (g/kg)
<i>Q</i>	Vazão de ar (L/s)
<i>L</i>	Calor latente específico da água (kJ/kg)

3.2.4.1 Resultados Totais por Área

No cálculo das cargas térmicas de ar exterior, foram utilizadas as temperaturas internas referentes à NR15 e a ASHRAE 55. Os valores negativos obtidos são utilizados para abatimento do calor proveniente dos parâmetros construtivos do edifício e também da dissipação térmica das pessoas.

A vazão de ar exterior selecionada para os dias de entalpia mais baixa é calculada de forma a combater a carga térmica total do ambiente, para que não seja necessária utilização de climatização. Sendo assim, esta vazão é modulada de acordo com a demanda de carga do sistema. Quando a entalpia exterior for maior do que a interna, a vazão selecionada será a mínima requerida de 2718 L/s. As tabelas abaixo representam o calor total de cada dia típico referente às estações do ano.

Tabela 21 é referente ao calor total do ar exterior por área durante o verão, esse período se caracteriza por altas temperaturas com isso o método da entalpia não acontece.

Tabela 21 – Calor Total do Ar Exterior no Verão por Área em kW

HORA	32,6 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,7 °C	25,3 °C	21,0 °C
8	9,2	28,6	45,9	56,8	77,4	110,6
9	13,0	32,4	49,7	60,6	81,1	114,3
10	18,1	37,5	54,8	65,7	86,3	119,5
11	16,6	36,0	53,2	64,2	84,7	117,9
12	22,0	41,4	58,7	69,6	90,2	123,4
13	30,3	49,7	67,0	78,0	98,5	131,7
14	30,3	49,7	66,9	77,9	98,4	131,6
15	30,2	49,6	66,9	77,8	98,3	131,5
16	27,5	46,9	64,2	75,1	95,6	128,8
17	23,5	42,9	60,2	71,1	91,7	124,8
18	21,0	40,4	57,6	68,6	89,1	122,3

Tabela 22 é referente ao calor total do ar exterior por área durante o outono, com temperaturas mais amenas, essa estação permite o uso do método da entalpia em determinados *setpoints* de temperatura e horas do dia.

Tabela 22 – Calor Total do Ar Exterior no Outono por Área kW

HORA	32,6 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,7 °C	25,3 °C	21,0 °C
8	-	-	-	-	-	31,55
9	-	-	-	-	13,86	47,04
10	-	-	-	7,42	27,97	61,15
11	-	-	4,40	15,33	35,88	69,06
12	-	-	8,97	19,90	40,44	73,63
13	-	-	6,60	17,53	38,08	71,26
14	-	-	5,38	16,31	36,86	70,04
15	-	-	0,73	11,66	32,21	65,39
16	-	-	-	3,75	24,30	57,48
17	-	-	-	1,63	22,18	55,36
18	-	-	-	-	17,86	51,04

Tabela 23 é referente ao calor total do ar exterior por área durante o inverno, essa estação se caracteriza por ser a mais fria do ano, com isso não pe necessário o uso de refrigeração em quese todos os *setpoints* de temperatura, menos na situação mais severa de 21°C

Tabela 23 – Calor Total do Ar Exterior no Inverno por Área kW

HORA	32,6 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,7 °C	25,3 °C	21,0 °C
8	-	-	-	-	-	6,03
9	-	-	-	-	-	7,82
10	-	-	-	-	-	11,41
11	-	-	-	-	-	13,29
12	-	-	-	-	-	15,08
13	-	-	-	-	-	16,96
14	-	-	-	-	-	18,83
15	-	-	-	-	-	17,93
16	-	-	-	-	-	17,93
17	-	-	-	-	-	16,96
18	-	-	-	-	-	15,16

Tabela 24 é referente ao calor total do ar exterior por área durante a primavera, esse período se caracteriza por temperaturas mais baixas do que o verão, porém mais altas do que o outono.

Tabela 24 – Calor Total do Ar Exterior na Primavera por Área kW

HORA	32,6 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,7 °C	25,3 °C	21,0 °C
8	-	2,61	19,90	30,82	51,37	84,55
9	-	2,36	19,65	30,58	51,13	84,31
10	-	12,31	29,60	40,53	61,07	94,26
11	-	13,45	30,74	41,67	62,22	95,40
12	-	15,98	33,27	44,19	64,74	97,92
13	-	14,68	31,96	42,89	63,44	96,62
14	-	10,93	28,21	39,14	59,69	92,87
15	-	8,40	25,69	36,61	57,16	90,34
16	-	0,00	17,20	28,13	48,68	81,86
17	-	0,00	17,20	28,13	48,68	81,86
18	-	0,00	14,84	25,77	46,31	79,50

Os hifens presentes nas cédulas demonstram que, nessas horas, a carga térmica de ar exterior foi negativa, portanto, não tem um valor exato e sim modular, de acordo com a demanda da carga, conforme explicado anteriormente.

3.2.4.2 Resultados Totais por Pessoas

Os valores encontrados nas Tabela 25, Tabela 26, Tabela 27, Tabela 28 são somados a dissipação térmica humana, que já foi calculada.

A tabela 25 se refere ao valor gasto em watts para a taxa de 5 l/s nos dias do ano referentes a estação verão.

Tabela 25– Calor Total do Ar Exterior no Verão por Pessoa em W

HORA	32,6 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,7 °C	25,3 °C	21,0 °C
8:00	16,95	52,65	84,45	104,55	142,35	203,4
9:00	23,85	59,55	91,35	111,45	149,25	210,3
10:00	33,3	69	100,8	120,9	158,7	219,75
11:00	30,45	66,15	97,95	118,05	155,85	216,9
12:00	40,5	76,2	108	128,1	165,9	226,95
13:00	55,8	91,5	123,3	143,4	181,2	242,25
14:00	55,65	91,35	123,15	143,25	181,05	242,1
15:00	55,5	91,2	123	143,1	180,9	241,95
16:00	50,55	86,25	118,05	138,15	175,95	237
17:00	43,2	78,9	110,7	130,8	168,6	229,65
18:00	38,55	74,25	106,05	126,15	163,95	225

A tabela 26 se refere ao valor gasto em watts para a taxa de 5 l/s nos dias do ano referentes a estação outono.

Tabela 26 – Calor Total do Ar Exterior no Outono por Pessoa em W

HORA	32,6 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,7 °C	25,3 °C	21,0 °C
8:00	-128,4	-92,7	-60,9	-40,8	-3	58,05
9:00	-99,9	-64,2	-32,4	-12,3	25,5	86,55
10:00	-73,95	-38,25	-6,45	13,65	51,45	112,5
11:00	-59,4	-23,7	8,1	28,2	66	127,05
12:00	-51	-15,3	16,5	36,6	74,4	135,45
13:00	-55,35	-19,65	12,15	32,25	70,05	131,1
14:00	-57,6	-21,9	9,9	30	67,8	128,85
15:00	-66,15	-30,45	1,35	21,45	59,25	120,3
16:00	-80,7	-45	-13,2	6,9	44,7	105,75
17:00	-84,6	-48,9	-17,1	3	40,8	101,85
18:00	-92,55	-56,85	-25,05	-4,95	32,85	93,9

A tabela 27 se refere ao valor gasto em watts para a taxa de 5 l/s nos dias do ano referentes a estação inverno.

Tabela 27 - Calor Total do Ar Exterior no Inverno por Pessoa em W

HORA	32,6 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,7 °C	25,3 °C	21,0 °C
8	-175,35	-139,65	-107,85	-87,75	-49,95	11,1
9	-172,05	-136,35	-104,55	-84,45	-46,65	14,4
10	-165,45	-129,75	-97,95	-77,85	-40,05	21
11	-162	-126,3	-94,5	-74,4	-36,6	24,45
12	-158,7	-123	-91,2	-71,1	-33,3	27,75
13	-155,25	-119,55	-87,75	-67,65	-29,85	31,2
14	-151,8	-116,1	-84,3	-64,2	-26,4	34,65
15	-153,45	-117,75	-85,95	-65,85	-28,05	33
16	-153,45	-117,75	-85,95	-65,85	-28,05	33
17	-155,25	-119,55	-87,75	-67,65	-29,85	31,2
18	-158,55	-122,85	-91,05	-70,95	-33,15	27,9

A tabela 28 se refere ao valor gasto em watts para a taxa de 5 l/s nos dias do ano referentes a estação primavera.

Tabela 28 – Calor Total do Ar Exterior na Primavera por Pessoa em W

HORA	32,6 °C	30,7 °C	28,9 °C	27,7 °C	25,3 °C	21,0 °C
8	-30,9	4,8	36,6	56,7	231,9	155,55
9	-31,35	4,35	36,15	56,25	218,55	155,1
10	-13,05	22,65	54,45	74,55	265,05	173,4
11	-10,95	24,75	56,55	76,65	264,15	175,5
12	-6,3	29,4	61,2	81,3	278,1	180,15
13	-8,7	27	58,8	78,9	269,7	177,75
14	-15,6	20,1	51,9	72	251,4	170,85
15	-20,25	15,45	47,25	67,35	239,85	166,2
16	-35,85	-0,15	31,65	51,75	201,45	150,6
17	-35,85	-0,15	31,65	51,75	201,45	150,6
18	-40,2	-4,5	27,3	47,4	194,4	146,25

3.2.5 Resultado Final da Carga Térmica

Com todos os valores individuais calculados e todas as melhorias propostas aplicadas, obtém-se o cálculo da carga térmica total.

Os valores somados considerados são:

- Carga térmica por hora proveniente dos parâmetros construtivos;
- Carga térmica proveniente da iluminação;
- Carga térmica de ar exterior por área, calculada a partir do método de entalpia;
- Calor dissipado por cada pessoa e sua dissipação específica de acordo com o metabolismo referente;
- Carga de ar exterior por pessoa, multiplicado pelo número de pessoas.

Para comparação do método de volume total com o método de *spot cooling*, a carga térmica foi calculada para diferentes quantidades de pessoas, conforme tabela 29 que está em kW.

Tabela 29 – Carga Térmica Total do Galpão Modelo

Pessoas	NR 15 M	NR 15 P	MET 1,77	MET 2,16	MET 2,94	MET 4,32
0	68654.65	181408.83	285834.25	333289.90	444414.72	706358.37
100	78381.36	260935.53	346220.65	413997.91	563295.72	889708.17
200	97936.56	340462.23	407659.17	495944.32	682176.72	1073057.97
300	117491.76	419988.93	470345.50	577997.32	801057.72	1256407.77
400	137645.20	499515.63	533442.64	660050.32	919938.72	1439757.57
500	161670.65	579042.33	596653.24	742103.32	1038819.72	1623107.37
600	185718.65	658569.03	660076.60	824156.32	1157700.72	1806457.17
700	213474.42	738095.73	723701.94	906209.32	1276581.72	1989806.97
800	241972.02	819978.29	787340.94	988262.32	1395462.72	2173156.77

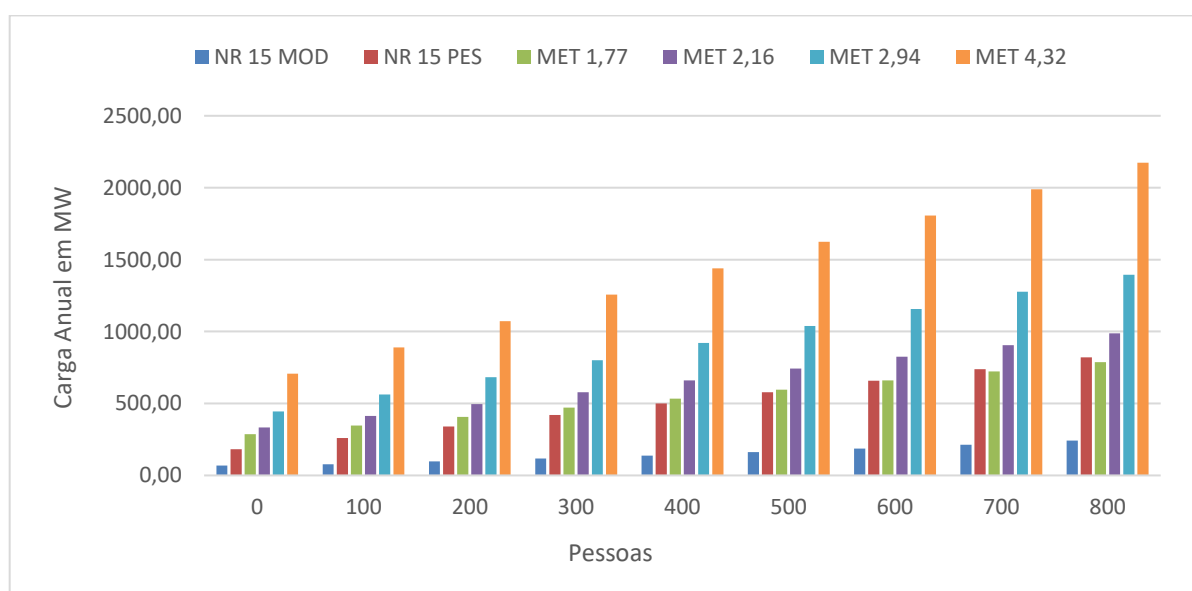


Figura 17 – Gráfico de Comparação entre Carga Térmica com Quantidades de Pessoas Distintas

Com o intuito ilustrar o perfil de crescimento da carga de acordo com as características propostas, elaborou-se um gráfico, Figura 17 – Gráfico de Comparação entre Carga Térmica

com Quantidades de Pessoas Distintas 17. Neste, é possível observar que a delimitação do tipo de trabalho desenvolvido dentro da indústria afeta significativamente na carga térmica do sistema, portanto é de essencial importância para a eficiência energética, a escolha da norma a ser atendida.

3.3 Desenvolvimento do Programa de Seleção de Parâmetros de *Spot Cooling*

O projeto visa à comparação entre os dois métodos, foi primordial à construção de uma programação em linguagem VBA (*Visual Basic Application*), que simule o cálculo e seleção de parâmetros de *spot cooling* adequados às premissas de conforto térmico, priorizando a maior eficiência energética possível.

O objetivo da aplicação de um método de cálculo iterativo é possibilitar a análise de um maior número de dados para definir parâmetros. Para tal, foi desenvolvido o PSP (Programa de Seleção de Parâmetros de *Spot Cooling*).

No seu desenvolvimento, inicialmente é necessária análise das equações para o cálculo das variáveis e a definição de quais serão os critérios modulares, que serão inseridos pelo usuário, e o produto final esperado pelo cálculo.

O sistema *spot cooling* é condicionado por duas variáveis, temperatura e velocidade. Estas são o produto esperado pelo cálculo e podem ser definidas pelas equações (2) e (5) apresentadas anteriormente.

No cálculo destas duas variáveis, subdividiu-se em dois tipos de parâmetros de definição, os condicionais e os iniciais. Os parâmetros iniciais são as condições impostas ao sistema, enquanto os parâmetros condicionais são os calculados a partir dos iniciais, apresentado na Figura 18.

Os parâmetros iniciais são: vazão; temperatura de insuflação; parâmetros ambientais; altura do jato; diâmetro do difusor e a constante k_1 .

Já os parâmetros condicionais são: área, equação (17); constante k_2 equação (3); k_n equação (4); velocidade inicial equação (18) e número de Arquimedes inicial, equação (19).

$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4} \quad (17)$$

$$v_0 = \frac{Q}{A_0} \quad (18)$$

$$Ar_0 = \frac{g * \sqrt{A_0}}{V_0^2} * \frac{\Delta\theta_0}{T_r} \quad (19)$$

A_0	Área do difusor (m ²)
d	Diâmetro do difusor (m)
v_0	Velocidade de saída do ar do difusor (m/s)
Q	Vazão de ar (L/s)
Ar_0	Número de Arquimedes
$\Delta\theta_0$	Diferencial entre a temperatura de insuflação e ambiente (K)
T_r	Temperatura ambiente (K)

Figura 18 – Userform para Inserção de Dados

Para otimizar a análise de diversas variáveis, foi proposta a possibilidade de inserção de faixas para os parâmetros iniciais. Sendo assim, elaboraram-se campos de parâmetro, de intervalo entre eles e de repetição de vezes em que esse intervalo é somado.

Para facilitar o entendimento, supõem-se, como exemplo, que sejam inseridos valores para a Temperatura de Insuflação como na Figura 19:

Nesse caso, soma-se um ao valor inicial de quinze, quatro vezes. Dessa forma, serão utilizadas as Temperaturas de Insuflação de 15, 16, 17, 18 e 19, nas bases de cálculo do programa. Essa lógica se aplica a todos os parâmetros iniciais.

PSP - Spot Cooling

O sistema utiliza dados de Temperaturas previamente inseridos na tabela "Suporte" com condições da cidade do Rio de Janeiro, para editá-las, acesse a tabela:

Constante k1:
 Inserir K1

Temperatura de Insuflação: <input type="text" value="15"/>	Intervalo: <input type="text" value="1"/>	Repetição: <input type="text" value="5"/>
Vazão: <input type="text"/>	Intervalo: <input type="text"/>	Repetição: <input type="text"/>
Altura do Difusor: <input type="text"/>	Intervalo: <input type="text"/>	Repetição: <input type="text"/>
Diâmetro do Difusor: <input type="text"/>	Intervalo: <input type="text"/>	Repetição: <input type="text"/>

Figura 19 – Exemplo de Inserção de Parâmetros

Para atender à proposta do projeto, possibilitou-se a inserção de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido (segundo Tabela 3) e ponto de orvalho (a partir de consulta à carta psicrométrica) anuais para cada hora de trabalho utilizadas como base de cálculo. Dessa forma, os parâmetros podem ser alterados para análises em diferentes localidades, mas caso não sejam, estão pré-definidos com condições reais da cidade do Rio de Janeiro.

Com a definição de todas as faixas de parâmetros iniciais, são criadas 44 planilhas, uma para cada temperatura do banco de dados. Depois da criação das planilhas, os dados são dispostos em todas as combinações de parâmetros possíveis (Figura 21). Caso a temperatura de insuflação seja menor ou igual a de ponto de orvalho, esse parâmetro é desconsiderado pela calculadora, pois, como tratado anteriormente, esse caso possibilita a condensação do vapor de água. Seguem respectivamente, dispostas em colunas, as informações referentes à

Temperatura de Bulbo Seco, Temperatura de Insuflação, Vazão, Altura e Diâmetro do Difusor.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	HORA	TBS	TBU	TPO	ESTAÇÃO	FATOR	
3	08:00	29.70	24.80	23.00	VERÃO	50	
4	09:00	31.40	25.10	22.80	VERÃO	50	
5	10:00	33.00	25.50	22.80	VERÃO	50	
6	11:00	33.80	25.40	22.30	VERÃO	50	
7	12:00	34.50	25.80	22.70	VERÃO	50	
8	13:00	35.30	26.40	23.30	VERÃO	50	
9	14:00	35.80	26.40	23.10	VERÃO	50	
10	15:00	35.90	26.40	23.10	VERÃO	50	
11	16:00	35.40	26.20	23.00	VERÃO	50	
12	17:00	34.00	25.90	23.00	VERÃO	50	
13	18:00	32.60	25.70	23.30	VERÃO	50	
14	08:00	19.80	17.90	16.90	OUTONO	110	
15	09:00	21.40	19.40	18.40	OUTONO	110	
16	10:00	22.80	20.70	19.80	OUTONO	110	
17	11:00	23.90	21.40	20.40	OUTONO	110	
18	12:00	24.60	21.80	20.60	OUTONO	110	
19	13:00	24.80	21.60	20.20	OUTONO	110	
20	14:00	25.10	21.50	19.90	OUTONO	110	
21	15:00	25.00	21.10	19.40	OUTONO	110	
22	16:00	24.50	20.40	18.50	OUTONO	110	
23	17:00	24.00	20.20	19.20	OUTONO	110	
24	18:00	23.30	19.80	18.10	OUTONO	110	
25	08:00	16.10	15.20	14.60	INVERNO	30	
26	09:00	16.60	15.40	14.60	INVERNO	30	
27	10:00	17.20	15.80	14.90	INVERNO	30	
28	11:00	17.60	16.00	15.00	INVERNO	30	
29	12:00	18.00	16.20	15.10	INVERNO	30	
30	13:00	18.60	16.40	15.10	INVERNO	30	
31	14:00	18.60	16.60	15.40	INVERNO	30	
32	15:00	18.50	16.50	15.30	INVERNO	30	
33	16:00	18.40	16.50	15.40	INVERNO	30	
34	17:00	18.10	16.40	15.40	INVERNO	30	
35	18:00	17.60	16.20	15.40	INVERNO	30	
36	08:00	24.50	22.70	22.00	PRIMAVERA	175	
37	09:00	25.50	23.70	23.00	PRIMAVERA	175	
38	10:00	26.20	23.50	22.40	PRIMAVERA	175	
39	11:00	26.80	23.60	22.40	PRIMAVERA	175	
40	12:00	26.80	23.80	22.70	PRIMAVERA	175	
41	13:00	26.90	23.70	22.50	PRIMAVERA	175	
42	14:00	26.70	23.40	22.10	PRIMAVERA	175	
43	15:00	26.50	23.20	21.90	PRIMAVERA	175	
44	16:00	25.80	22.50	21.10	PRIMAVERA	175	
45	17:00	25.80	22.50	21.10	PRIMAVERA	175	
46	18:00	25.30	22.30	21.10	PRIMAVERA	175	
47							
48							
49							

Figura 20 – Bancos de Dados de Temperatura do Rio de Janeiro

Com todas as informações dispostas em cada planilha, o programa começa a calcular a velocidade e temperatura finais dos jatos nas colunas F e G respectivamente (Figura 22). Caso a temperatura final seja menor ou igual a de insuflação, esse parâmetro também é desconsiderado pela calculadora, pois, nesse caso caracteriza-se que a equação utilizada pela calculadora não se aplica a essa combinação de parâmetros, portanto, assume-se o jato ainda não atingiu a zona de fluxo turbulento estabilizado.

	A	B	C	D	E	F
1	29,7	20	1000	1.5000	0.2000	
2	29,7	20	1000	1.5000	0.2500	
3	29,7	20	1000	2.0000	0.2000	
4	29,7	20	1000	2.0000	0.2500	
5	29,7	20	1100	1.5000	0.2000	
6	29,7	20	1100	1.5000	0.2500	
7	29,7	20	1100	2.0000	0.2000	
8	29,7	20	1100	2.0000	0.2500	
9	29,7	21	1000	1.5000	0.2000	
10	29,7	21	1000	1.5000	0.2500	
11	29,7	21	1000	2.0000	0.2000	
12	29,7	21	1000	2.0000	0.2500	
13	29,7	21	1100	1.5000	0.2000	
14	29,7	21	1100	1.5000	0.2500	
15	29,7	21	1100	2.0000	0.2000	
16	29,7	21	1100	2.0000	0.2500	
17	29,7	15	600	2.0000	0.1500	
18	29,7	15	600	2.0000	0.2000	
19	29,7	15	700	1.0000	0.1000	
20	29,7	15	700	1.0000	0.1500	
21	29,7	15	700	1.0000	0.2000	
22	29,7	15	700	1.5000	0.1000	
23	29,7	15	700	1.5000	0.1500	
24	29,7	15	700	1.5000	0.2000	
25	29,7	15	700	2.0000	0.1000	
26	29,7	15	700	2.0000	0.1500	
27	29,7	15	700	2.0000	0.2000	
28	29,7	16	500	1.0000	0.1000	
29	29,7	16	500	1.0000	0.1500	
30	29,7	16	500	1.0000	0.2000	
31	29,7	16	500	1.5000	0.1000	
32	29,7	16	500	1.5000	0.1500	
33	29,7	16	500	1.5000	0.2000	
34	29,7	16	500	2.0000	0.1000	
35	29,7	16	500	2.0000	0.1500	
36	29,7	16	500	2.0000	0.2000	
37	29,7	16	600	1.0000	0.1000	
38	29,7	16	600	1.0000	0.1500	
39	29,7	16	600	1.0000	0.2000	
40	29,7	16	600	1.5000	0.1000	
41	29,7	16	600	1.5000	0.1500	
42	29,7	16	600	1.5000	0.2000	
43	29,7	16	600	2.0000	0.1000	
44	29,7	16	600	2.0000	0.1500	
45	29,7	16	600	2.0000	0.2000	
46	29,7	16	700	1.0000	0.1000	
47	29,7	16	700	1.0000	0.1500	
48	29,7	16	700	1.0000	0.2000	

Figura 21 – Exemplo de Disposição dos Parâmetros

Posteriormente, o programa analisa quais combinações de fatores atendem cada condição, conforme os valores de temperatura e velocidade requeridos pelas normas e apaga as combinações (linha de parâmetros) que não atendam a nenhuma (imagem 22).

	A	B	C	D	E	F	G
1	25.8	22	700	1.0000	0.2000	6.254687	22.251
2	25.8	22	700	2.0000	0.2000	3.127343	24.0255
3	25.8	22	700	2.0000	0.2500	2.501875	23.58187
4	25.8	22	700	2.0000	0.3000	2.084896	23.13825
5	25.8	22	700	3.0000	0.2000	2.084896	24.617

Figura 22 – Exemplo do Cálculo da Velocidade e Temperatura

Após a verificação de cumprimento das normas, o programa executa o cálculo de calor extraído da massa de ar insuflada. Como o calor retirado é somente sensível, para seu cálculo é utilizada a equação (15).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	34	23	700	1.0000	0.2000	6.254687	23.72657	nr15mod	nr15pes	met1,77	met2,16	met2,94
2	34	23	700	2.0000	0.2500	2.501875	27.57911	nr15mod		met1,77	met2,16	
3	34	23	700	2.0000	0.3000	2.084896	26.29493	nr15mod	nr15pes	met1,77	met2,16	
4	34	23	700	2.0000	0.3500	1.787053	25.01075	nr15mod	nr15pes			
5	34	23	700	2.0000	0.4000	1.563672	23.72657	nr15mod	nr15pes			
6	34	23	700	3.0000	0.3500	1.191369	28.00717	nr15mod				
7	34	23	700	3.0000	0.4000	1.042448	27.15105	nr15mod				
8	34	23	800	1.0000	0.2000	7.148214	23.72657	nr15mod	nr15pes	met1,77	met2,16	met2,94

Figura 23 – Exemplo da Adequação das Normas

É aplicado o fator multiplicador (na coluna O) referente ao número de dias por ano que a temperatura (na coluna A) ocorre, como descrito, na Tabela 3 - Condições Externas Adotadas para os Dias-Tipo (°C). Com o valor unitário do calor retirado calculado, ao multiplicá-lo pelo fator multiplicador obtém-se o resultado anual do calor sensível referente à hora da linha.

Para que os melhores parâmetros sejam selecionados, a planilha organiza os resultados de calor sensível anuais por hora (coluna P) de forma crescente. Com o somatório da primeira linha da coluna P em todas as 44 tabelas de parâmetros que atendam um determinado aspecto das normas, geram-se cinco resultados anuais de calor sensível para os parâmetros inseridos. O programa também gera uma planilha com todos os parâmetros ideais para cada hora típica.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
73	33.8	23	400	2.5000	0.3500	0.816939	26.73935	nr15mod	nr15pes					1448.4	50	72420
74	33.8	23	400	3.0000	0.3500	0.680782	27.91613	nr15mod						1448.4	50	72420
75	33.8	25	500	1.5000	0.2000	2.978422	28.32084	nr15mod		met1,77				1475.222	50	73761.11
76	33.8	25	500	1.5000	0.2500	2.382738	26.95105	nr15mod		met1,77	met2,16			1475.222	50	73761.11
77	33.8	25	500	1.5000	0.3000	1.985615	25.58126	nr15mod	nr15pes					1475.222	50	73761.11
78	33.8	25	500	2.0000	0.2500	1.787053	28.66329	nr15mod						1475.222	50	73761.11
79	33.8	25	500	2.0000	0.3000	1.489211	27.63594	nr15mod						1475.222	50	73761.11
80	33.8	25	500	2.0000	0.3500	1.276467	26.6086	nr15mod	nr15pes					1475.222	50	73761.11
81	33.8	25	500	2.5000	0.3500	1.021173	28.04688	nr15mod						1475.222	50	73761.11
82	33.8	26	600	1.5000	0.2500	2.859285	27.72934	nr15mod		met1,77				1569.1	50	78455
83	33.8	26	600	1.5000	0.3000	2.382738	26.5152	nr15mod	nr15pes	met1,77	met2,16			1569.1	50	78455
84	33.8	26	600	2.0000	0.3000	1.787053	28.3364	nr15mod						1569.1	50	78455
85	33.8	26	600	2.0000	0.3500	1.53176	27.4258	nr15mod						1569.1	50	78455
86	33.8	27	700	1.5000	0.2500	3.335833	28.50763	nr15mod		met1,77				1595.922	50	79796.11
87	33.8	27	700	1.5000	0.3000	2.779861	27.44915	nr15mod		met1,77	met2,16			1595.922	50	79796.11
88	33.8	27	700	2.0000	0.3500	1.787053	28.24301	nr15mod						1595.922	50	79796.11
89	33.8	24	500	1.5000	0.2000	2.978422	27.69821	nr15mod		met1,77				1642.861	50	82143.06
90	33.8	24	500	1.5000	0.2500	2.382738	26.17276	nr15mod	nr15pes	met1,77	met2,16			1642.861	50	82143.06
91	33.8	24	500	1.5000	0.3000	1.985615	24.64731	nr15mod	nr15pes					1642.861	50	82143.06
92	33.8	24	500	2.0000	0.2500	1.787053	28.07957	nr15mod						1642.861	50	82143.06
93	33.8	24	500	2.0000	0.3000	1.489211	26.93548	nr15mod						1642.861	50	82143.06

Figura 24 – Exemplo do Cálculo do Calor Sensível

A fim de melhor exemplificar o processo de execução do programa de forma cronológica, segue fluxograma ilustrativo. O código referente ao programa se encontra no APÊNDICE B: Código de Programação Referente a Calculadora de Parâmetros.

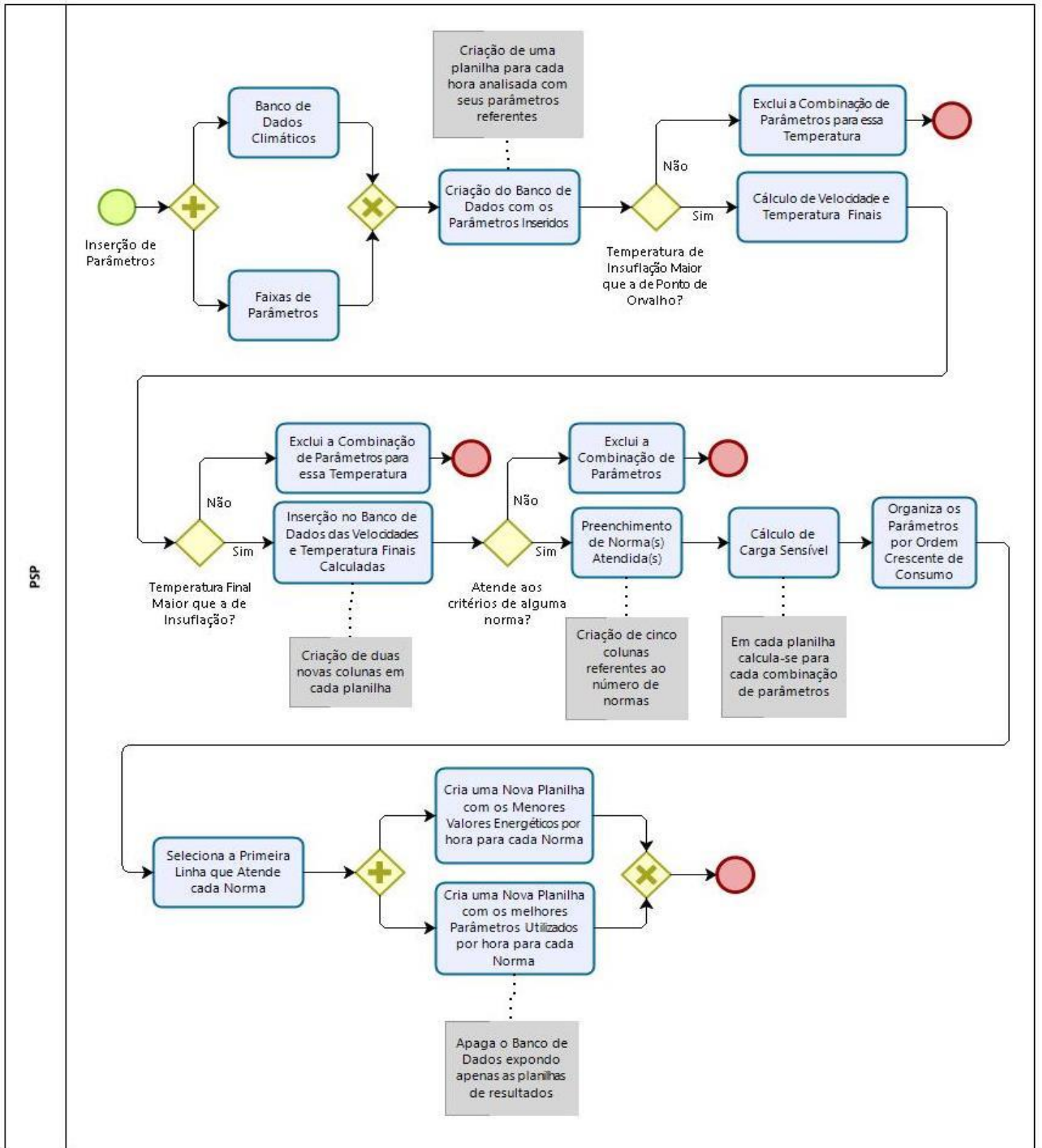


Figura 25 – Fluxograma Ilustrativo da Calculadora PSP

3.3.1 Resultados Gerados pelo Programa de Seleção de Parâmetros

O programa gera duas novas planilhas, a primeira contendo carga térmica horária por dia típico e carga anual referente à norma atendida Tabela 30 – Resultados da Carga de Climatização para Hora Típica. E, a segunda planilha contendo os dados de parâmetros utilizados em cada hora típica, Tabela 31, Tabela 32, Tabela 33.

Tabela 30 – Resultados da Carga de Climatização para Hora Típica

ESTAÇÃO	HORA	NR15mod	NR15pes	Met1,77	Met2,16	Met2,92	Met4,32
VERÃO	08:00:00	13142.89	49788.75	48615.28	61020.56	105612.5	x
VERÃO	09:00:00	36461.46	65462.99	75437.5	97901.11	149366.3	x
VERÃO	10:00:00	54784.39	86669.31	112653.3	137296.3	190102.5	x
VERÃO	11:00:00	64775.67	100331.9	134111.1	156910	211225	x
VERÃO	12:00:00	73224.67	107724.8	151042.6	175224.5	227653.6	x
VERÃO	13:00:00	83735.63	116173.8	170488.8	197813.9	246429.2	x
VERÃO	14:00:00	89770.63	121454.4	182558.8	211225	262857.8	x
VERÃO	15:00:00	91279.38	122510.5	185576.3	212901.4	265204.7	x
VERÃO	16:00:00	85244.38	117229.9	171997.5	201166.7	252799.4	x
VERÃO	17:00:00	66887.92	102444.1	139475.6	161268.6	215918.9	x
VERÃO	18:00:00	49285.83	81137.22	100918.6	126735	181050	x
OUTONO	08:00:00	0	0	0	0	0	0
OUTONO	09:00:00	0	0	0	0	0	0
OUTONO	10:00:00	0	0	0	0	0	x
OUTONO	11:00:00	0	0	0	0	0	x
OUTONO	12:00:00	0	0	0	0	0	x
OUTONO	13:00:00	0	0	0	0	0	x
OUTONO	14:00:00	0	0	0	0	0	x
OUTONO	15:00:00	0	0	0	0	0	x
OUTONO	16:00:00	0	0	0	0	0	x
OUTONO	17:00:00	0	0	0	0	0	x
OUTONO	18:00:00	0	0	0	0	0	x
PRIMAVERA	08:00:00	0	0	0	0	0	x
PRIMAVERA	09:00:00	0	0	0	0	0	x
PRIMAVERA	10:00:00	0	0	0	0	63367.5	x
PRIMAVERA	11:00:00	0	0	0	0	115000.3	x
PRIMAVERA	12:00:00	0	0	0	0	115000.3	x
PRIMAVERA	13:00:00	0	0	0	0	123214.6	x
PRIMAVERA	14:00:00	0	0	0	0	106786	x
PRIMAVERA	15:00:00	0	0	0	0	90357.36	x
PRIMAVERA	16:00:00	0	0	0	0	26989.86	x
PRIMAVERA	17:00:00	0	0	0	0	26989.86	x
PRIMAVERA	18:00:00	0	0	0	0	0	x
	Total	708592.8	92536.7	1472875	1739463	2975926	x

Os valores da tabela considerados como zero se referem há dias com temperaturas menores do que a exigida pela norma respectiva, já os valores marcados pela letra x consideram as horas não atendidas pelo sistema *spot cooling*, devido a não atendimento das temperaturas e velocidades requeridas.

Como as temperaturas de inverno eram mais baixas do que as requeridas por qualquer condição das normas, não foram consideradas nessa análise final.

As tabelas abaixo indicam os parâmetros encontrados pela calculadora que obtiver o melhor desempenho. A altura do difusor de insuflação foi padronizada em 2,5 metros, visto que esse parâmetro não pode ser alterado após a instalação, muito menos modular a cada mudança de condições. Pode-se observar também que os parâmetros de temperatura são significativamente superior aos aplicados em uma condição normal de ar condicionado, a qual o padrão de insuflação gira em torno de 12 a 14 graus Celsius.

A tabela 31 apresenta dos valores dos parâmetros utilizados para o cálculo da carga de climatização necessária para o atendimento da NR15 moderado e pesado nas condições de dias referentes a estação verão. Não foi necessária a elaboração das tabelas referentes as outra estações, visto que, a temperatura externa não era maior do que a requerida em norma.

Tabela 31 – Tabelas dos Parâmetros mais Eficientes em cada Condição (a) NR 15 Moderado (b) NR 15 Pesado

NR15mod - Verão					NR15pes - Verão				
HORA	Temp i	Vazão	Altura	Diâmetro	HORA	Temp i	Vazão	Altura	Diâmetro
08:00:00	24,1	140	2,50	0,10	08:00:00	24,1	140	2,5	0,10
09:00:00	23,9	290	2,50	0,20	09:00:00	23,9	290	2,5	0,20
10:00:00	24,4	380	2,50	0,27	10:00:00	24,4	380	2,5	0,27
11:00:00	24,3	410	2,50	0,29	11:00:00	24,3	410	2,5	0,29
12:00:00	24,1	420	2,50	0,30	12:00:00	24,1	420	2,5	0,30
13:00:00	23,9	440	2,50	0,31	13:00:00	23,9	440	2,5	0,31
14:00:00	23,9	450	2,50	0,32	14:00:00	23,9	450	2,5	0,32
15:00:00	23,8	450	2,50	0,32	15:00:00	23,8	450	2,5	0,32
16:00:00	24,1	450	2,50	0,32	16:00:00	24,1	450	2,5	0,32
17:00:00	24,2	410	2,50	0,29	17:00:00	24,2	410	2,5	0,29
18:00:00	24,4	380	2,50	0,26	18:00:00	24,4	380	2,5	0,26

(a)

(b)

A Tabela 32 apresenta os parâmetros utilizados para o atendimento dos critérios da ASHRAE 55 com MET 1,77 e MET 2,16. Nessa situação também não foi necessária a elaboração das tabelas referentes as outras estações.

Tabela 32– Tabelas dos Parâmetros mais Eficientes em cada Condição (a) MET 1,77 (b) MET 2,16

ASHRAE 55 MET 1,77 - Verão					ASHRAE 55 MET 2,16 - Verão				
HORA	Temp i	Vazão	Altura	Diâmetro	HORA	Temp i	Vazão	Altura	Diâmetro
08:00:00	23,9	500	2,5	0,16	08:00:00	24,5	700	2,5	0,25
09:00:00	23,9	600	2,5	0,2	09:00:00	24,4	700	2,5	0,36
10:00:00	23,4	700	2,5	0,25	10:00:00	24,4	700	2,5	0,38
11:00:00	23,8	800	2,5	0,28	11:00:00	24	700	2,5	0,38
12:00:00	23,9	850	2,5	0,3	12:00:00	24	650	2,5	0,39
13:00:00	24	900	2,5	0,32	13:00:00	23,5	1000	2,5	0,35
14:00:00	23,7	900	2,5	0,32	14:00:00	23,4	650	2,5	0,39
15:00:00	23,6	900	2,5	0,32	15:00:00	23,4	650	2,5	0,39
16:00:00	24	900	2,5	0,32	16:00:00	23,6	650	2,5	0,39
17:00:00	23,6	800	2,5	0,28	17:00:00	24,2	650	2,5	0,39
18:00:00	24	700	2,5	0,25	18:00:00	24,4	700	2,5	0,38

(a)

(b)

A tabela 33 apresenta os melhores parâmetros referentes ao atendimento da ASHRAE 55 no critério 2,94. Esse foi o critério mais severo no qual o *spot cooling* foi capaz de atender. Nessa situação os dias referentes a estação primavera também foram analisados.

Tabela 33– Tabelas dos Parâmetros mais Eficientes em cada Condição (a) MET 2,94 (b) MET 2,94

ASHRAE 55 MET 2,94 - Verão					ASHRAE 55 MET 2,94 - Primavera				
HORA	Temp i	Vazão	Altura	Diâmetro	HORA	Temp i	Vazão	Altura	Diâmetro
08:00:00	25,2	1400	2,5	0,5	08:00:00	-	-	-	-
09:00:00	24,8	1350	2,5	0,48	09:00:00	24,4	700	2,5	0,36
10:00:00	24,6	1350	2,5	0,48	10:00:00	25,4	1350	2,5	0,47
11:00:00	24,8	1400	2,5	0,5	11:00:00	25,4	1400	2,5	0,5
12:00:00	24,8	1400	2,5	0,5	12:00:00	25,4	1400	2,5	0,5
13:00:00	24,8	1400	2,5	0,5	13:00:00	25,4	1400	2,5	0,5
14:00:00	24,6	1400	2,5	0,5	14:00:00	25,4	1400	2,5	0,5
15:00:00	24,6	1400	2,5	0,5	15:00:00	25,4	1400	2,5	0,49
16:00:00	25	1450	2,5	0,51	16:00:00	25,4	1150	2,5	0,41
17:00:00	24,8	1400	2,5	0,5	17:00:00	25,4	1150	2,5	0,41
18:00:00	24,6	1350	2,5	0,48	18:00:00	-	-	-	-

(a)

(b)

Com o valor total gasto individualmente por cada jato, será possível estabelecer parâmetros de eficiência por número de posto de trabalho, em comparação ao método de cálculo de volume total.

Capítulo 4

Comparação entre os Métodos

A comparação dos métodos de climatização tratados no decorrer do presente trabalho se resultou das análises das tabelas, Tabela 29, Tabela 30, desenvolvidas anteriormente. Para padronizar, utilizou-se taxas obtidas pela equação (20) elaborada abaixo e, dessa forma, possibilitar a escolha do modelo adequado à aplicação.

O cálculo realizado para que essa taxa seja calculada é:

$$\dot{c} = \frac{C_{an} * 1000}{d * h * m * A_t} \quad (20)$$

\dot{c}	Taxa de carga por metro quadrado por hora (W/m ² *h)
C_{an}	Carga térmica anual (kW)
d	Dia
h	Hora (h)
m	Mês
A_t	Área total do galpão (m ²)

Com os valores de consumo energéticos anuais convertidos às taxas, são elaborados gráficos e equações que descrevem a tendência de crescimento destas taxas. Com essas equações, pode-se identificar quais condições são mais adequadas à aplicação de cada método.

4.1 Adequação à NR 15 Moderado

A partir da aplicação da equação (20), foi elaborada a tabela 34, visando a comparação dos métodos de climatização.

Tabela 34 - Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para NR 15 Moderado

NR15 - Moderado		
Pessoas	Spot cooling	Volume total
0	0,00	3,26
100	3,92	4,89
200	7,85	6,63
300	11,77	8,53
400	15,70	10,60
500	19,62	12,69
600	23,54	14,78
700	27,47	16,98

Com os dados da tabela 34, foi elaborado um gráfico, Figura 26, com as curvas de tendência da carga consumida em $W/(m^2 \cdot h)$, taxa elaborada no tópico anterior.

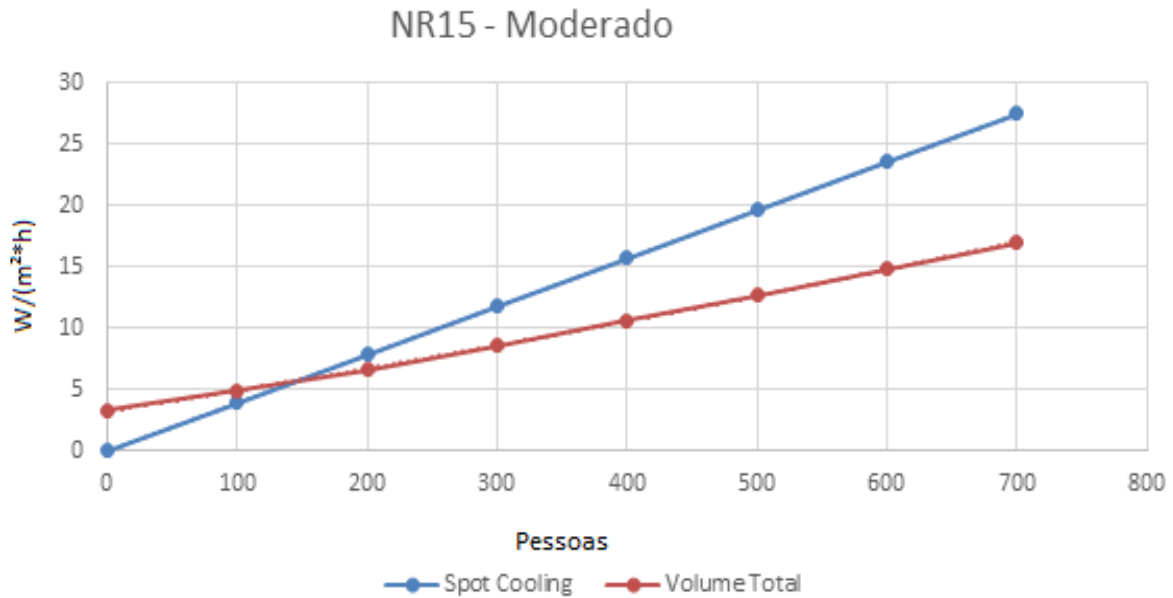


Figura 26 – Gráfico que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para NR 15 Moderado

As equações que descrevem as curvas, Figura 26, são:

Curva do Volume total:

$$y = 5 * 10^{-6}x^2 + 0,0165x + 3,26$$

Spot cooling:

$$y = 0,0392x$$

Para encontrar os pontos de interseção entre os gráficos, deve-se igualar as equações e encontrar as raízes.

$$0,0392x = 5 * 10^{-6}x^2 + 0,0165x + 3,26$$

$$5 * 10^{-6}x^2 - 0,0227 + 3,26 = 0$$

$$x_1 = 4391,53$$

$$x_2 = 148,47$$

Como se trata de uma equação do segundo grau, encontram-se duas raízes, porém só uma está na região de interesse. A interseção entre as curvas indica o ponto na qual o

consumo energético para o atendimento das normas é o mesmo nos dois métodos analisados. Portanto pode-se concluir que o valor gasto em watts para garantir o cumprimento da NR 15 moderado para 148 pessoas no galpão modelo é aproximadamente o mesmo.

Para que o resultado dessa análise não fique restrito ao modelo do galpão proposto, é executada uma nova parametrização do resultado. Dessa vez é criada uma taxa de densidade em pessoas por 100m² e, assim, encontrar um resultado mais global, de forma a ser comparado com diversas situações. Essa parametrização se repetirá para as próximas adequações.

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = \frac{148}{45,60}$$

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 3,25$$

A taxa acima encontrada de 3,25 é a taxa máxima para aplicação do método *spot cooling* de forma mais eficiente em comparação ao método de volume total.

4.2 Adequação à NR15 Pesado

A partir da aplicação da equação (20), foi elaborada a tabela 35, visando a comparação dos métodos de climatização.

Tabela 35 - Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para NR 15 Pesado

NR15 - Pesado		
Pessoas	Spot cooling	Volume total
0	0,00	10,05
100	5,93	14,45
200	11,86	18,85
300	17,79	23,26
400	23,72	27,66
500	29,65	32,07
600	35,58	36,47
700	41,51	40,87
800	47,44	45,41
900	53,38	49,96
1000	59,31	54,27
1100	65,24	58,61

Com os dados da tabela 35, foi elaborado um gráfico, Figura 27, com as curvas de tendência da carga consumida em $W/(m^2/h)$, taxa elaborada no tópico anterior.

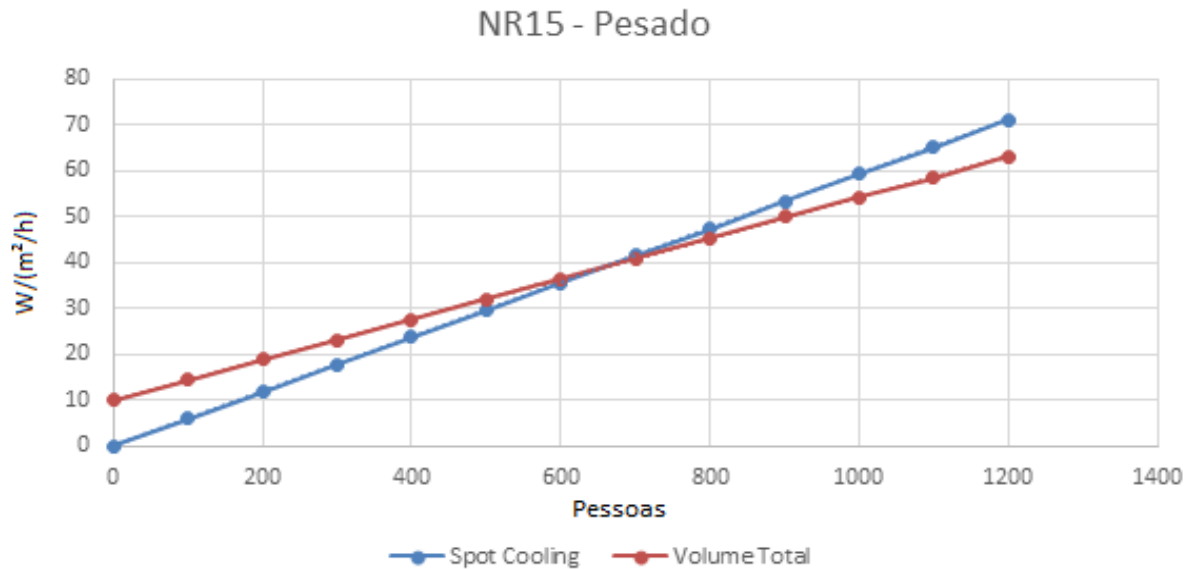


Figura 27 – Gráfico da que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para NR 15 Pesado

As equações que descrevem a reta a curva são:

Curva do Volume total:

$$y = 2 * 10^{-6}x^2 + 0,044x + 10,05$$

Spot cooling:

$$y = 0,0593x$$

Para encontrar os pontos de intercessão entre os gráficos, deve-se igualar as equações e encontrar as raízes.

$$0,0593x = 2 * 10^{-6}x^2 + 0,044x + 10,05$$

$$2 * 10^{-6}x^2 - 0,0153x + 10,05 = 0$$

$$x_1 = 6924,29$$

$$x_2 = 725,71$$

Novamente, como se trata de uma equação do segundo grau, encontram-se duas raízes, porém só uma está na região de interesse. A intercessão entre as curvas indica o ponto na qual

o consumo energético para o atendimento das normas é o mesmo nos dois métodos analisados.

Portanto pode-se concluir que o valor gasto em watts para garantir o cumprimento da NR 15 moderada para 726 pessoas no galpão modelo é aproximadamente o mesmo.

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = \frac{726}{45,60}$$

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 15,92$$

A taxa acima encontrada de 15,92 é a taxa máxima para aplicação do método *spot cooling* de forma mais eficiente em comparação ao método de volume total.

4.3 Adequação à ASHRAE 55 - MET 1,77

A partir da aplicação da equação (20) foi elaborada a tabela abaixo, visando a comparação dos métodos de climatização.

Tabela 36 – Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para MET 1,77

ASHRAE 55 - MET 1,77		
Pessoas	Spot cooling	Volume total
0	0,00	15,83
100	8,16	19,17
200	16,31	22,58
300	24,47	26,05
400	32,63	29,54
500	40,78	33,04
600	48,94	36,55
700	57,10	40,08
800	65,25	43,60

Com os dados da tabela 35, foi elaborado um gráfico, Figura 27, com as curvas de tendência da carga consumida em W/(m²/h), taxa elaborada no tópico anterior.

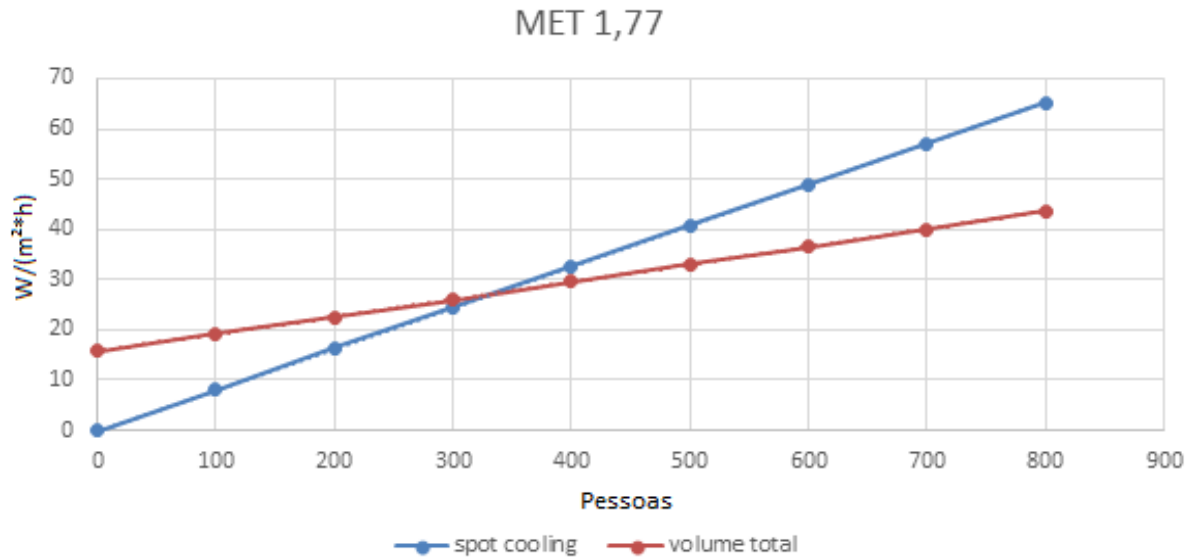


Figura 28 – Gráfico que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para MET 1,77

As equações que descrevem a reta a curva são:

Curva do Volume total:

$$y = 1 * 10^{-6}x^2 + 0,0339x + 15,83$$

Spot cooling:

$$y = 0,0816x$$

Para encontrar os pontos de intercessão entre os gráficos deve-se igualar as equações e encontrar as raízes.

$$0,0816x = 1 * 10^{-6}x^2 + 0,0339x + 15,83$$

$$1 * 10^{-5}x^2 - 0,0477x + 15,83 = 0$$

$$x_1 = 4411,14$$

$$x_2 = 358,86$$

Analogamente aos casos tratados anteriormente pode-se concluir que o valor gasto em watts para garantir o cumprimento da NR 15 moderada para 359 pessoas no galpão modelo é aproximadamente o mesmo.

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = \frac{359}{45,60}$$

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 7,87$$

A taxa acima encontrada de 7,87 é a taxa máxima para aplicação do método *spot cooling* de forma mais eficiente em comparação ao método de volume total.

4.4 Adequação à ASHRAE 55 - MET 2,16

A partir da aplicação da equação (20) foi elaborada a tabela abaixo, visando a comparação dos métodos de climatização.

Tabela 37 - Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para MET 2,16

ASHRAE 55 - MET 2,16		
Pessoas	Spot cooling	Volume total
0	0,00	18,46
100	9,63	22,93
200	19,27	27,46
300	28,90	32,01
400	38,53	36,55
500	48,16	41,10
600	57,80	45,64
700	67,43	50,18
800	77,06	54,73

Com os dados da tabela 35, foi elaborado um gráfico, Figura 27, com as curvas de tendência da carga consumida em W/(m²/h), taxa elaborada no tópico anterior.

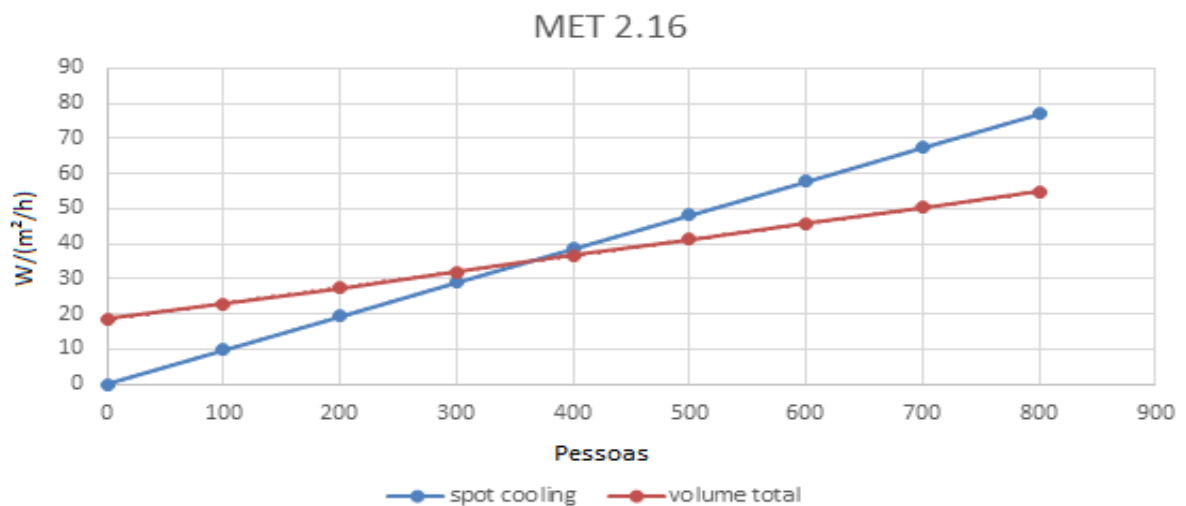


Figura 29 – Gráfico que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para MET 2,16

As equações que descrevem a reta a curva são:

Curva do Volume total:

$$y = 2 * 10^{-7}x^2 + 0,0452x + 18,46$$

Spot cooling:

$$y = 0,0963x$$

Para encontrar os pontos de intercessão entre os gráficos deve-se igualar as equações e encontrar as raízes.

$$0,0963x = 2 * 10^{-7}x^2 + 0,0452x + 18,46$$

$$2 * 10^{-7} - 0,0511x + 18,46 = 0$$

$$x_1 = 255138,24$$

$$x_2 = 361,76$$

Novamente, pode-se concluir que o valor gasto em watts para garantir o cumprimento da NR 15 moderada para 361 pessoas no galpão modelo é aproximadamente o mesmo.

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = \frac{362}{45,60}$$

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 7,94$$

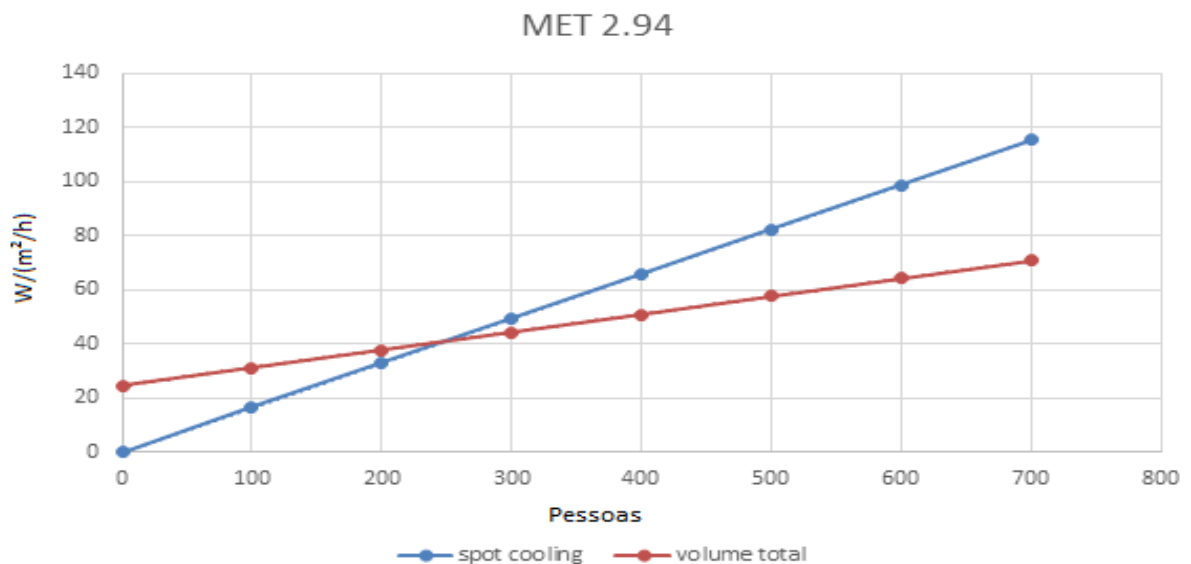
A taxa acima encontrada de 7,94 é a taxa máxima para aplicação do método *spot cooling* de forma mais eficiente em comparação ao método de volume total.

4.5 Adequação à ASHRAE 55 - MET 2,94

A partir da aplicação da equação (20) foi elaborada a tabela abaixo, visando a comparação dos métodos de climatização.

Tabela 38 - Taxa de Acordo com o Número de Ocupante para MET 2,94

ASHRAE 55 - MET 2,94		
Pessoas	Spot cooling	Volume total
0	0,00	24,61
100	16,48	31,19
200	32,96	37,78
300	49,44	44,36
400	65,92	50,94
500	82,40	57,53
600	98,88	64,11
700	115,36	70,69

**Figura 30** – Gráfico que Descrevem o Perfil de Carga Térmica do Modelo para MET 2,94

As equações que descrevem a reta a curva são:

Curva do Volume total:

$$y = 6 * 10^{-17}x^2 + 0,0658x + 24,61$$

Spot cooling:

$$y = 0,1648x$$

Para encontrar os pontos de interseção entre os gráficos deve-se igualar as equações e encontrar as raízes.

$$0,1648x = 6 * 10^{-17}x^2 + 0,0658x + 24,61$$

$$6 * 10^{-17}x^2 - 0,099x + 24,61 = 0$$

$$x_1 = 1,65 * 10^{15}$$

$$x_2 = 248,59$$

Portanto pode-se concluir que o valor gasto em watts para garantir o cumprimento da NR 15 moderada para 249 pessoas no galpão modelo é aproximadamente o mesmo.

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = \frac{249}{45,60}$$

$$\frac{\text{pessoas}}{100\text{m}^2} = 5,46$$

A taxa acima encontrada de 5,46 é a taxa máxima para aplicação do método *spot cooling* de forma mais eficiente em comparação ao método de volume total.

4.6 Adequação a ASHRAE 55 - MET 4,32

Como pode ser observado a partir das tabelas de carga e parâmetros gerados pela calculadora de spot cooling, não é possível chegar a valores satisfatórios com o uso do *spot cooling*. Pode-se concluir, então, que para essa situação da norma é necessário o uso do método de volume total.

4.7 Análise dos Resultados

Por meio da análise dos resultados obtidos na comparação entre os dois métodos, o *spot cooling* se mostrou bastante eficiente para aplicação em indústrias e galpões com uma densidade populacional relativamente baixa.

As faixas de aplicação para os métodos, spot cooling e volume total, estão representadas no gráfico abaixo, **Figura 31** – Gráfico das Faixas de Aplicação. Esse gráfico simula o galpão para uma taxa máxima de até 20 pessoas por 100m², o que significa 912 pessoas nos 4560m², quantidade atípica em uma configuração industrial.

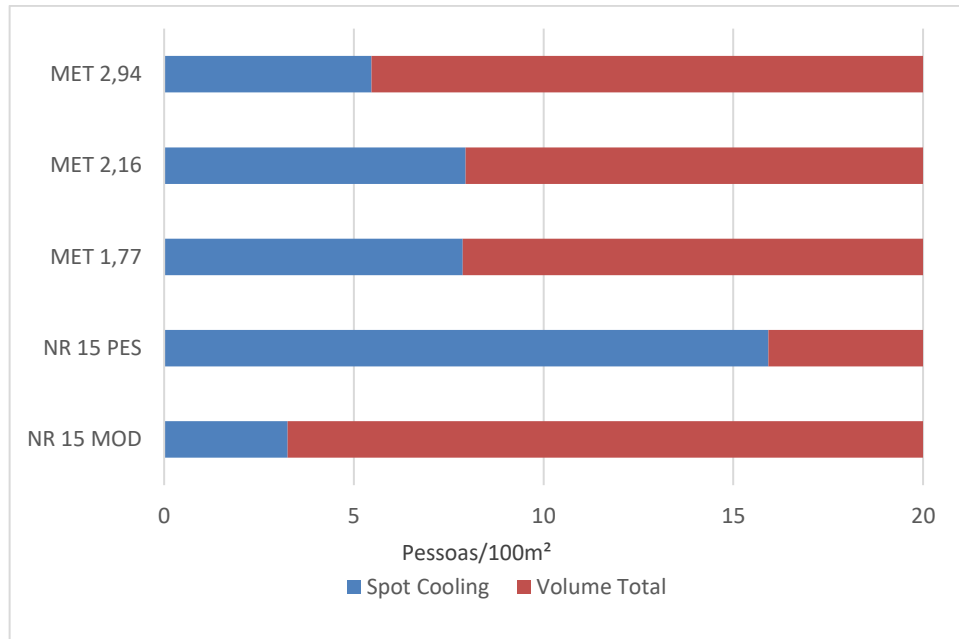


Figura 31 – Gráfico das Faixas de Aplicação dos Métodos

Pode-se concluir também que, para aplicações em regimes de trabalho pesados, como exigido na NR 15 pesado, o método *spot cooling* apresenta um desempenho muito superior. Esse fenômeno se deve a alta taxa de dissipação térmica de seus ocupantes, o que causa um aumento expressivo da carga térmica, no caso do volume total, devido ao alto grau de trabalho exercido pelo metabolismo.

Outro ponto analisado é que para a norma ASHRAE 55, no caso do MET 4,92, o único método é o de volume total. Isso acontece devido ao bioclima tropical da cidade do Rio de Janeiro, que causa umidades muito expressivas, impedindo que os jatos de ar sejam insuflados com baixa temperatura e impossibilitando sua chegada na zona de ocupação nas condições desejadas.

Para efeito prático, simulou-se o galpão modelo com 60 postos de trabalho e assim analisar a eficiência do método *spot cooling*, é calculado a carga a anual para o método de volume total de *spot cooling* e a redução de energética gerada pela aplicação do *spot cooling*.

Tabela 39 – Comparação entre os Métodos para o Galpão Modelo com 60 Pessoas

Método	Consumo Anual em kW				
	NR 15 MOD	NR 15 PES	MET 1,77	MET 2,16	MET 2,94
Volume Total	70559.28	229124.85	322066.09	381550.42	515743.32
Spot Cooling	42515.57	64255.65	88372.52	104367.78	178555.53
Redução %	40%	72%	73%	73%	65%

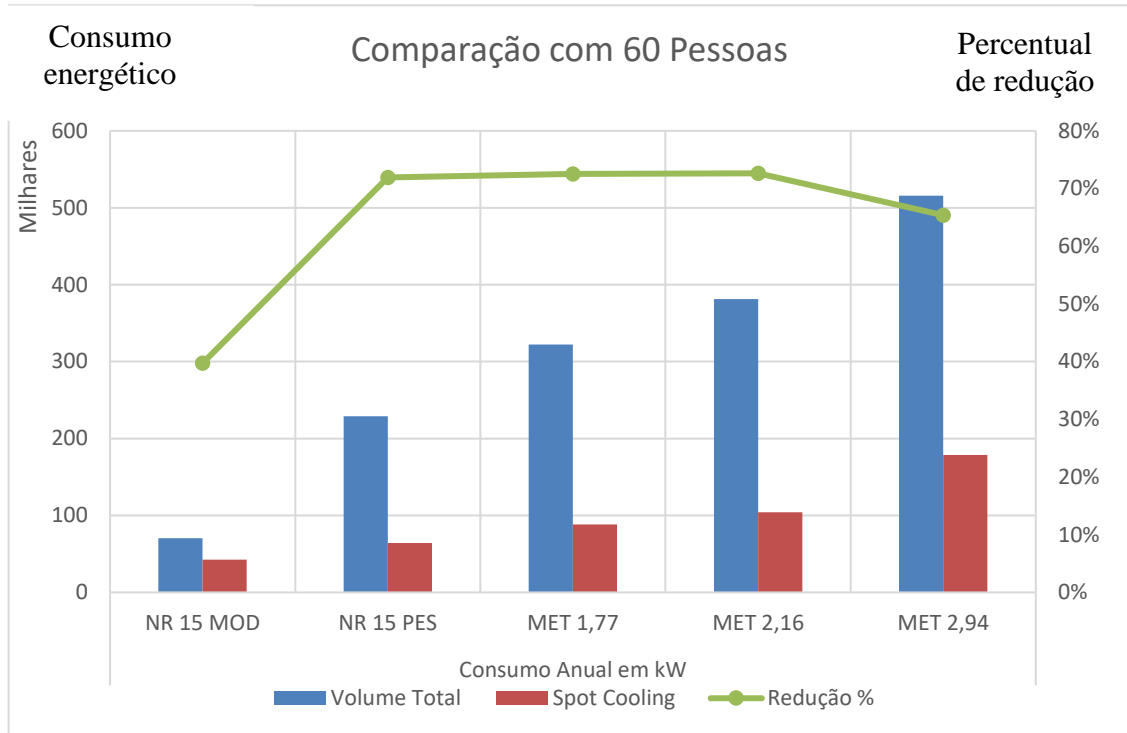


Figura 32 – Gráfico Comparativo entre os Métodos para o Galpão Modelo com 60 Pessoas

Por meio da Tabela 39 e da Figura 32, observa-se que há vantagem do método *spot cooling* sobre o de volume total. No caso prático, a redução de consumo energético foi superior à 40% para o cumprimento de todas as normas, atingindo mais de 70% para critérios mais rigorosos de trabalho como NR 15 pesado, MET 1,77 e MET 2,16. A análise não abrange os critérios da MET 4,92 que, como já explicado anteriormente, não são atendidos pelo método de *spot cooling*.

Capítulo 5

Conclusão

O presente trabalho apresentou os conceitos referentes ao método de climatização *spot cooling*; seus fundamentos, características e tipos de modelos., bem como os conceitos básicos de conforto térmico e normas nacionais e internacionais que o regulamenta.

Expôs o conceito de carga térmica e da psicrometria e como esses fatores incidem sobre o modelo proposto. Descreveu dados climáticos referentes à cidade escolhida e explicou as particularidades desse bioclima.

Para efeito de comparação, foi estudado o método de climatização por volume total e calculada a carga térmica. Durante o cálculo, foram propostas melhorias ao sistema e apresentadas justificativas para tal, como por exemplo, o efeito de redução de carga propiciado pelo uso de um material isolante no telhado.

Objetivando o cálculo de *spot cooling*, foi criado um programa interativo que permite a inserção de uma tabela climática da cidade a ser pesquisada e os parâmetros envolvidos na performance do método. Dessa forma, foi possível encontrar resultados mais precisos.

Foi feita uma análise comparativa entre os dois métodos calculados e especificadas as melhores faixas de aplicação para cada um. O que resultou em valores expressivos para o *spot cooling*, como no caso da adequação para a NR 15 pesado, na qual a faixa de aplicação do método vai um ocupante até 726, o que demonstra a vasta aplicabilidade do sistema.

Os resultados obtidos nas comparações comprovam a eficiência do *spot cooling* perante ao tradicional. Eles mostram que, em ambientes de grandes volumes e baixas densidades populacionais, a eficiência pode chegar a mais de 70%, como visto no caso do galpão modelo com 60 pessoas.

Algumas modificações e sugestões para trabalhos futuros:

- Utilização de métodos numérico para o cálculo do escoamento de jatos de ar verticais;
- Influência da utilização de múltiplos jatos em um ambiente de controle;
- Comparação da aplicação do método *spot cooling*, utilizando a calculadora em diferentes zonas bioclimáticas;
- Comparação do método de *spot cooling* com outros tipos de climatização.

BIBLIOGRAFIA

AMERICOOOL, LLC. americooollc, 29 jun. 2019. Disponível em: <<https://www.americooollc.com/data-center-cooling.htm>>.

AZER, N. Z. Design Guidelines for Spot Cooling. **ASHRAE Transaction**, 1982.

BARBOSA, B. P. P. **SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E AR-CONDICIONADO PARA LABORATÓRIOS DE PESQUISA COM BIOSSEGURANÇA**. Rio de Janeiro. 2011.

DALLANBRIDA, E. C. G. C. M. P. T. R. **Análise Comparativa da eficiência energética em lâmpas incandescentes, fluorescente e led**. [S.l.]. 2015.

GOODFELLOW, H. **Industrial Ventilation Design Guidebook**. San Diego: ACADEMIC PRESS, 2001.

GRIMITLYN, M. Zurluftverteilung in raumem. In: _____ **Luft und Kaltetechnik**. [S.l.]: [s.n.], 1970. p. 246-256.

HOWELL, R. H. **Principles of heating ventilating and ar conditioning**. [S.l.]: ASHRAE, 2005.

IBGE. **Censo demográfico**. [S.l.]. 2008/2009.

KOESTEL, A. Computing Temperatures and velocities in vertical jets of hot and cold air. **ASHVE Transactions vol. 60**, p. 385-410, 1954.

LAMBERTS, J. C. **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. Santa Catarina. 2005.

LAMBERTS, R. **CONFORTO E STRESS TÉRMICO**. [S.l.]. 2016.

MELIKOV, A. K. **Human response to cooling with jets**. ASHRAE. [S.l.]. 1982.

ONE STRANGE ROCK. Direção: Cristopher Riley, Nic Stacey Gramham Booth. [S.l.]: [s.n.]. 2018.

PINHEIRO, J. **Apostila de Psicrometria**. IME. Rio de Janeiro, p. 17. 2017.

THRELKELD, J. W. **Thermal Enviromental Engineering**. new york: McGraw-Hill, 1998.

TYLER, H. University of California Berkeley. **CBE Thermal Comfort Tool**, 2017. Disponível em: <<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>>.

UNICO. INC. Spot Cooling Applications, 1999.

REFÊNCIA NORMATIVA

- 16401, N. **Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. ABNT. [S.l.]. 2017.
- ABNT. **Desempenho térmico de edificações - PROJETO 02:135.07-001/3**. [S.l.]. 2003.
- ABNT 5413. **Iluminância de Interiores**. [S.l.]. 1992.
- ASHRAE 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta. 2004.
- ASHRAE STANDARD 62.1. **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. [S.l.]. 2007.
- ISO 7730. **Determinação dos índices PMV e PPD**. INTERNATIONAL STANDARD. [S.l.]. 2005.
- NR15-ANEXO3. **NR15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES**. [S.l.]. 2015.

APÊNDICE A: Resultados Gerados pelo Programa de Carga Térmica HAP

- Temperatura interna de 32,6°C

Hour	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
800.00	26.70	16.30	14.90	12.50	13.00	2.60	10.90	12.80	15.60	17.30	18.40	25.70
900.00	27.10	16.50	15.10	12.70	13.20	2.60	11.10	12.90	15.90	17.60	18.70	26.00
1000.00	27.50	16.60	15.30	12.80	13.30	2.60	11.20	13.10	16.10	17.90	18.90	26.30
1100.00	27.80	16.90	15.50	13.10	13.60	2.80	11.50	13.40	16.40	18.20	19.10	26.70
1200.00	28.30	17.20	15.80	13.30	13.80	3.00	11.70	13.70	16.70	18.50	19.50	27.20
1300.00	32.80	17.50	16.10	13.60	14.10	3.20	12.00	14.00	17.00	18.80	19.80	27.60
1400.00	41.10	17.80	16.30	13.80	14.30	3.30	12.30	14.30	17.30	19.10	20.10	28.00
1500.00	46.10	17.90	16.50	14.00	14.40	3.40	12.50	14.40	17.50	19.20	20.20	28.40
1600.00	49.40	18.00	16.50	14.00	14.40	3.40	12.50	14.50	17.50	19.20	20.20	31.20
1700.00	49.40	17.90	16.40	13.90	14.40	3.30	12.50	14.50	17.40	19.20	20.20	31.20
1800.00	44.40	17.70	16.20	13.70	14.30	3.10	12.50	14.40	17.20	18.90	20.00	29.60
total dia	400.60	190.30	174.60	147.40	152.80	33.30	130.70	152.00	184.60	203.90	215.10	307.90

- Temperatura interna de 30,7°C

Hour	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
800.00	30.50	20.00	18.30	15.30	15.90	2.90	13.30	15.60	19.20	21.30	22.60	28.70
900.00	30.20	20.30	18.60	15.60	16.20	2.90	13.50	15.90	19.60	21.80	23.10	29.30
1000.00	30.70	20.50	18.80	15.80	16.40	3.00	13.80	16.20	19.90	22.10	23.40	29.80
1100.00	33.80	20.90	19.10	16.10	16.70	3.20	14.10	16.50	20.30	22.50	23.50	30.40
1200.00	43.80	21.20	19.50	16.40	17.00	3.50	14.40	16.90	20.70	22.90	24.10	31.00
1300.00	52.80	21.60	19.90	16.70	17.40	3.70	14.80	17.30	21.00	23.30	24.50	38.30
1400.00	59.60	21.90	20.20	17.00	17.60	3.90	15.10	17.60	21.40	23.60	24.80	48.30
1500.00	64.20	22.20	20.40	17.20	17.80	4.00	15.30	17.80	21.60	23.80	25.00	52.90
1600.00	66.40	22.20	20.40	17.20	17.80	4.00	15.40	17.90	21.60	23.80	25.00	57.30
1700.00	64.20	22.10	20.30	17.10	17.70	3.90	15.40	17.80	21.50	23.60	24.90	55.10
1800.00	59.60	21.80	20.00	16.80	17.60	3.70	15.30	17.70	21.20	23.30	24.60	50.60
total dia	535.80	234.70	215.50	181.20	188.10	38.70	160.40	187.20	228.00	252.00	265.50	451.70

- Temperatura interna de 28,9°C

Hour	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
800.00	32.00	23.40	21.30	17.80	18.60	3.00	15.50	18.20	22.40	25.00	26.50	31.20
900.00	31.40	23.90	21.80	18.20	19.00	3.00	15.80	18.60	23.00	25.60	27.20	30.60
1000.00	41.10	24.20	22.10	18.50	19.20	3.20	16.10	18.90	23.40	26.00	27.60	31.30
1100.00	47.10	24.60	22.50	18.90	19.60	3.50	16.50	19.40	23.90	26.50	27.80	41.00
1200.00	60.00	25.00	23.00	19.30	20.00	3.80	16.90	19.80	24.30	27.00	28.50	47.10
1300.00	66.20	25.50	23.40	19.70	20.40	4.10	17.40	20.30	24.80	27.50	28.90	60.10
1400.00	72.20	25.90	23.80	20.00	20.70	4.40	17.70	20.70	25.20	27.80	29.30	66.10
1500.00	78.10	26.10	24.00	20.20	20.90	4.50	18.00	20.90	25.40	28.00	29.50	69.20
1600.00	79.60	26.10	24.00	20.20	20.90	4.50	18.10	21.00	25.40	28.00	29.50	72.10
1700.00	78.10	26.00	23.80	20.00	20.80	4.30	18.10	20.90	25.20	27.80	29.30	71.90
1800.00	72.10	25.60	23.40	19.70	20.60	4.10	17.90	20.70	24.90	27.40	28.90	66.10
total dia	657.90	276.30	253.10	212.50	220.70	42.40	188.00	219.40	267.90	296.60	313.00	586.70

- Temperatura interna de 27,7°C

Hour	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
800.00	35	25.4	23.1	19.2	20.1	2.9	16.7	19.7	24.4	26	26.6	29.3
900.00	41.8	26	23.8	19.8	20.6	2.9	17.1	20.2	25.1	26.9	27.6	31.6
1000.00	48.8	26.4	24.1	20.1	21	3.1	17.4	20.6	25.5	27.4	28.1	41.8
1100.00	56	26.8	24.6	20.6	21.4	3.4	17.9	21.1	26.1	28	28.4	48.9
1200.00	69.6	27.4	25.1	21	21.8	3.8	18.4	21.6	26.6	28.6	29.3	62.5
1300.00	75.2	27.8	25.6	21.5	22.3	4.2	18.9	22.2	27.1	29.1	29.8	68.1
1400.00	82.3	28.3	26	21.9	22.6	4.5	19.3	22.6	27.5	29.5	35	75.1
1500.00	85.9	28.5	26.2	22.1	22.8	4.7	19.6	22.9	27.8	29.8	35.3	78.8
1600.00	86.1	28.6	26.2	22	22.8	4.7	19.7	22.9	27.7	29.7	35.3	82.3
1700.00	86	28.3	26	21.8	22.6	4.4	19.7	22.8	27.6	29.5	35.2	78.8
1800.00	82.1	27.9	25.5	21.5	22.4	4.2	19.5	22.6	27.2	29.1	29.9	75.1
total dia	748.80	301.40	276.20	231.50	240.40	42.80	204.20	239.20	292.60	313.60	340.50	672.30

- Temperatura interna de 25,3°C

Hour	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
800.00	49.6	20.1	19.8	17.8	18.2	1.3	16.7	17.9	20.2	20.7	21.1	40
900.00	59	20.3	19.9	18.9	19.1	1.1	17.4	18.7	20.6	25.7	30.3	49.4
1000.00	68.7	21.1	20.6	19.5	19.7	1.5	17.9	19.4	25.6	30.6	39.4	59
1100.00	78.4	30.3	25.7	20.1	20.4	2	18.6	20.2	30.6	39.9	39.9	68.8
1200.00	79.6	39.5	30.6	20.9	21.1	2.6	19.3	20.9	39.8	49.1	49.4	78.8
1300.00	91.9	40.2	39.6	25.7	30.1	3.1	20	25.9	40.5	49.8	58.7	88.7
1400.00	97.2	49.3	40.1	30.4	30.6	3.5	20.5	30.7	49.5	58.8	59.1	91.8
1500.00	102.3	49.6	48.9	30.7	30.9	3.7	20.9	39.4	49.7	59	59.4	96.9
1600.00	104.8	49.6	40.4	30.7	30.9	3.7	21.1	31	49.6	58.8	59.3	97.2
1700.00	102.4	49.3	40.1	30.5	30.8	3.4	21.2	31	49.3	49.8	58.9	96.9
1800.00	97.1	40.2	39.6	25.9	30.5	3.2	21.1	30.8	40.3	49.3	49.7	91.7
total dia	931.00	409.50	365.30	271.10	282.30	29.10	214.70	285.90	415.70	491.50	525.20	859.20

- Temperatura interna de 21,0°C

Hour	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
800.00	80.6	44.1	43.7	43.2	43.5	9	27.2	43.2	44.2	58.2	60.8	78.5
900.00	96.2	47.6	44.6	43.4	43.8	9	43.2	43.6	60.3	61.1	61.7	80.1
1000.00	98	61.2	60.6	44.1	44.7	12.7	43.7	44.4	61.3	62.5	77.6	96.2
1100.00	113.8	62.6	61.6	60.3	60.8	25.9	44.7	60.7	62.8	78.4	78.2	98.3
1200.00	115.9	78.2	64.9	61.1	61.7	26.4	60.7	61.7	78.5	79.8	80.2	114.3
1300.00	131.3	79.4	78.5	62.2	62.8	26.7	61.5	64.9	79.7	94.9	95.4	129.1
1400.00	132.9	80.4	79.4	64.9	77.8	26.9	62.5	78.2	80.5	95.5	96.2	130.8
1500.00	134.2	94.8	79.8	77.8	78	29.9	64.9	78.5	94.9	95.7	96.6	132
1600.00	141.2	82.2	79.8	75.9	77.7	27	75.8	78.3	80.6	95.4	96.4	132.6
1700.00	140.8	80.3	79.2	62.6	63	26.4	62.6	77.9	80.2	82.2	95.6	132
1800.00	132.6	79.4	78	62	62.6	26.2	62.3	62.9	79.4	80	80.5	130.6
total dia	1317.50	790.20	750.10	657.50	676.40	246.10	609.10	694.30	802.40	883.70	919.20	1254.50

APÊNDICE B: Código de Programação Referente a Calculadora de Parâmetros

- Comando para Apagar Planilhas

```

Private Sub CommandButton1_Click()
|calculadora com função de retorno de dados de banco em planilha suporte

Dim fim As Variant
Dim fim2 As Variant
Dim fim3 As Variant
Dim fim4 As Variant
Dim fim5 As Variant
Dim n As Variant

'desabilita a visualização da atualização do programa
Application.ScreenUpdating = False

'define o fim das repetições de cada coluna
fim = (TextBox12.Value * TextBox13.Value * TextBox14.Value * TextBox15.Value)
fim2 = (TextBox13.Value * TextBox14.Value * TextBox15.Value)
fim3 = (TextBox14.Value * TextBox15.Value)
fim4 = (TextBox15.Value)
fim5 = 1

'limpa os dados presentes na planilha da calculadora
Call apagar

'cria uma planilha para cada parâmetro do banco de dados
For ret = 3 To 46

    With Sheets("Calculadora")

        'inserir dados:
        'digitar temp amb
        For i = 1 To fim
            .Cells(i, 1) = Sheets("Tabela").Cells(ret, 2).Value
        Next

        'digitar fator multiplicador da estação
        For i = 1 To fim
            .Cells(i, 15) = Sheets("Tabela").Cells(ret, 6).Value
        Next

        'digitar temp i
        For x = 0 To TextBox12.Value - 1
            For i = (x * fim2 + 1) To fim2 * (x + 1)
                .Cells(i, 2) = CDec(TextBox3.Value + x * TextBox4.Value)
            Next
        Next

        'digitar vazão
        For x = 0 To TextBox13.Value - 1
            For i = (x * fim3 + 1) To fim3 * (x + 1)
                .Cells(i, 3) = CDec(TextBox5.Value + x * TextBox6.Value)
            Next
        Next
    End With
Next

```

- Botão Calcular

```

Private Sub CommandButton1_Click()
|calculadora com função de retorno de dados de banco em planilha suporte

Dim fim As Variant
Dim fim2 As Variant
Dim fim3 As Variant
Dim fim4 As Variant
Dim fim5 As Variant
Dim n As Variant

'desabilita a visualização da atualização do programa
Application.ScreenUpdating = False

'define o fim das repetições de cada coluna
fim = (TextBox12.Value * TextBox13.Value * TextBox14.Value * TextBox15.Value)
fim2 = (TextBox13.Value * TextBox14.Value * TextBox15.Value)
fim3 = (TextBox14.Value * TextBox15.Value)
fim4 = (TextBox15.Value)
fim5 = 1

'limpa os dados presentes na planilha da calculadora
Call apagar

'cria uma planilha para cada parâmetro do banco de dados
For ret = 3 To 46

    With Sheets("Calculadora")

        'inserir dados:
        'digitar temp amb
        For i = 1 To fim
            .Cells(i, 1) = Sheets("Tabela").Cells(ret, 2).Value
        Next

        'digitar fator multiplicador da estação
        For i = 1 To fim
            .Cells(i, 15) = Sheets("Tabela").Cells(ret, 6).Value
        Next

        'digitar temp i
        For x = 0 To TextBox12.Value - 1
            For i = (x * fim2 + 1) To fim2 * (x + 1)
                .Cells(i, 2) = CDec(TextBox3.Value + x * TextBox4.Value)
            Next
        Next

        'digitar vazão
        For x = 0 To TextBox13.Value - 1
            For i = (x * fim3 + 1) To fim3 * (x + 1)
                .Cells(i, 3) = CDec(TextBox5.Value + x * TextBox6.Value)
            Next
        Next

        'digitar altura difusor
        For x = 0 To TextBox14.Value - 1
            For i = (x * fim4 + 1) To fim4 * (x + 1)
                .Cells(i, 4) = CDec(TextBox7.Value + x * TextBox8.Value)
            Next
        Next

        'digitar diametro do difusor
        For x = 0 To TextBox15.Value - 1
            For i = (x * fim5 + 1) To fim5 * (x + 1)
                .Cells(i, 5) = CDec(TextBox9.Value + x * TextBox10.Value)
            Next
        Next
    End With
Next

```

```

End With

'replica as informações para atender todas as possibilidades de combinação de parâmetros
Call copiarbd(ret)
'calcula velocidade e temperatura finais
Call calcularbd(ret)
'identifica a qual norma atende
Call leiturabd(ret)
'Call Apaga_Linha(ret)
Call apagarbranco(ret)
Call calorsensivel(ret)
Call classificar(ret)

Next

Call somese
Call apagarplans

Sheets("Resultado").Select

Application.ScreenUpdating = True

Unload bd
End Sub

```

- Botão Voltar

```

Private Sub CommandButton2_Click()
'voltar
Unload bd

End Sub

```

- Comando de Cálculo

```

Sub cal()
'abrir calculadora
bd.Show
End Sub

```

```

Sub calcularbd(ByVal ret As Variant)
'calcular parametros

With Sheets(ret)

i = 1
Do Until .Cells(i, 1) = ""
'returna os parametros inseridos
ta = (.Cells(i, 1).Value)
ti = (.Cells(i, 2).Value)
q = (.Cells(i, 3).Value)
h = (.Cells(i, 4).Value)
dl = (.Cells(i, 5).Value)
lin = ret
tpo = (Sheets(1).Cells(lin, 4).Value)

If ti < tpo Then
.Cells(i, 1).EntireRow.Delete 'exclui linha inteira
GoTo prox
Else
GoTo prox2
End If

```

```

prox2:
k1 = (bd.TextBox16.Value)

'calcula a area p/ diametro retornado
area = (3.14 * (d1 ^ 2) / 4)

'velocidade inicial
v0 = (q / (3600 * area))

'constante k2
k2 = 0.9246621 * k1

'Arquimedes
Ar0 = (9.81 * (area ^ 0.5)) / (v0 ^ 2) * (ta - ti) / (ta + 273)

'soca n
kn = (1 + (2.5 * (k2 / (k1 ^ 2)))) * (Ar0 * ((h / (area ^ 0.5)) ^ 2)) ^ (1 / 3)

'velocidade na altura retornada
vx = v0 * (k1 * ((area ^ 0.5) / h) * kn)

    If vx < 10 Then
        .Cells(i, 6) = CDec(vx)
        GoTo prox3
    Else
        .Cells(i, 1).EntireRow.Delete 'exclui linha inteira
        GoTo prox
    End If

prox3:
'temperatura na altura retornada
tx = ((ta + 273) + (ti - ta) * k2 * ((area ^ 0.5) / (h * kn))) - 273

    If ti < tx Then
        .Cells(i, 7) = CDec(tx)
        GoTo prox
    Else
        .Cells(i, 1).EntireRow.Delete 'exclui linha inteira
        GoTo prox
    End If

prox:
i = i + 1

Loop
End With

End Sub

Sub calorsensivel(ByVal ret As Variant)

With Sheets(ret)
l = 1
Do Until .Cells(l, 1) = ""

    ta2 = .Cells(l, 1).Value
    ti2 = .Cells(l, 2).Value
    V = (.Cells(l, 3).Value) / 3.6
    xcs = .Cells(l, 15).Value

    cs = 1.207 * V * (ta2 - ti2)

    .Cells(l, 14) = cs

    .Cells(l, 16) = xcs * cs

    l = l + 1
Loop

End With
End Sub

```

- Comando de Cópia dos Parâmetros Inseridos

```

Sub copiarbd(ByVal ret As Variant)
'replica as informações para atender todas as possibilidades de combinação de parâmetros

fim = (bd.TextBox12.Value * bd.TextBox13.Value * bd.TextBox14.Value * bd.TextBox15.Value)
fim2 = (bd.TextBox13.Value * bd.TextBox14.Value * bd.TextBox15.Value)
fim3 = (bd.TextBox14.Value * bd.TextBox15.Value)
fim4 = (bd.TextBox15.Value)
fim5 = 1

'adiciona uma nova planilha
Sheets.Add After:=Sheets(Sheets.Count)
'copia todas as informações inseridas
Sheets("Calculadora").Select
Sheets("Calculadora").Cells(1, 15).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToLeft)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToLeft)).Select
Selection.Copy
'nova planilha
i = ret
Sheets(i).Select
Sheets(i).Cells(1, 1).Select
'cola na nova planilha
ActiveSheet.Paste

With Sheets(ret)

'copiar parametros de diametro
.Cells(1, 5).Select
Range(Selection, .Cells(bd.TextBox15.Value, 5)).Select
Selection.Copy

For lin = bd.TextBox15.Value + 1 To fim Step bd.TextBox15.Value
.Cells(lin, 5).Select
ActiveSheet.Paste
Next

'copiar parametros de altura
.Cells(1, 4).Select
Range(Selection, .Cells(fim3, 4)).Select
Selection.Copy

For lin = fim3 + 1 To fim Step fim3
.Cells(lin, 4).Select
ActiveSheet.Paste
Next

'copiar parametros de temp amb
.Cells(1, 3).Select
Range(Selection, .Cells(fim2, 3)).Select
Selection.Copy

For lin = fim2 + 1 To fim Step fim2
.Cells(lin, 3).Select
ActiveSheet.Paste
Next

End With

End Sub

```

- Variáveis Públicas

```
Public area As Variant
Public dl As Variant
Public v0 As Variant
Public q As Variant
Public k1 As Variant
Public k2 As Variant
Public ti As Variant
Public ta As Variant
Public h As Variant
Public Ar0 As Variant
Public kn As Variant
Public vx As Variant
Public tx As Variant
Public ret As Variant
Public fim As Variant
Public fim2 As Variant
Public fim3 As Variant
Public fim4 As Variant
Public fim5 As Variant
Public tpo As Variant
Public ta2 As Variant
Public ti2 As Variant
Public V As Variant
Public cs As Variant
Public xcs As Variant
Public i As Variant
Public j As Variant
Public k As Variant
Public l As Variant
Public m As Variant
Public nah As Variant
Public nai As Variant
Public naj As Variant
Public nak As Variant
Public nal As Variant
Public nam As Variant
```


- Invalidação dos Parâmetros não Adequados

```

Sub leituraabd(ByVal ret As Variant)
'identifica a qual norma atende
With Sheets(ret)
    i = 1
    Do Until .Cells(i, 1) = ""

        If .Cells(i, 1).Value > 28.7 And .Cells(i, 7).Value <= 28.7 And .Cells(i, 6).Value >= 1 Then
            .Cells(i, 8) = "nr15mod"
        End If

        If .Cells(i, 1).Value > 26.9 And .Cells(i, 7).Value <= 26.9 And .Cells(i, 6).Value >= 1 Then
            .Cells(i, 9) = "nr15pes"
        End If

        If .Cells(i, 1).Value > 28.6 And .Cells(i, 7) <= 28.6 And .Cells(i, 6).Value >= 2 Then
            .Cells(i, 10) = "met1,77"
        End If

        If .Cells(i, 1).Value > 27.6 And .Cells(i, 7) <= 27.6 And .Cells(i, 6).Value >= 2 Then
            .Cells(i, 11) = "met2,16"
        End If

        If .Cells(i, 1).Value > 25.5 And .Cells(i, 7) <= 25.5 And .Cells(i, 6).Value >= 2 Then
            .Cells(i, 12) = "met2,94"
        End If

        If .Cells(i, 1).Value > 21.9 And .Cells(i, 7) <= 21.9 And .Cells(i, 6).Value >= 2 Then
            .Cells(i, 13) = "met4,32"
        End If

        i = i + 1
    Loop

End With

End Sub

```

```

Sub classificar(ByVal ret As Variant)
'
    Sheets(ret).Select
    Columns("A:P").Select
    Range("P1").Activate
    ActiveWorkbook.Worksheets(ret).Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets(ret).Sort.SortFields.Add2 Key:=Range("P1" _
        ), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets(ret).Sort
        .SetRange Range("A1:P1601")
        .Header = xlGuess
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With
    Range("A1").Select

End Sub

```

```
Sub somese()  
' calcula o valor total do gasto energetico para cada norma atendida e  
'retorna os dias que a norma não foi atendida  
  
Sheets.Add After:=Sheets(Sheets.Count)  
Call resultado  
Call parametros  
  
'nr15mod  
  
h = 0  
nah = 0  
i = 0  
nai = 0  
j = 0  
naj = 0
```

```

m = 0
nam = 0
c = 0
c1 = 0
c2 = 0
c3 = 0
c4 = 0
c5 = 0

'nrl5mod*****
For ret = 3 To 46
    lin8 = 1
    While Sheets(ret).Cells(lin8, 8) <> "nrl5mod"
        If lin8 > 1000 Then
            If Sheets(1).Cells(ret, 2).Value <= 28.7 Then
                'dia atendido pela norma
                c = 0
                Sheets("Resultado").Cells(ret, 2) = c
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 2) = 0
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 3) = 0
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 4) = 0
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 5) = 0
                GoTo errol
            Else
                'dia não atendido pela norma
                c = 0
                Sheets("Resultado").Cells(ret, 2) = "x"
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 2) = "x"
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 3) = "x"
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 4) = "x"
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 5) = "x"
                nah = nah + 1
                GoTo errol
            End If
        End If
        lin8 = lin8 + 1
    Wend

    c = Sheets(ret).Cells(lin8, 16).Value
    Sheets("Resultado").Cells(ret, 2) = c
    Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 2) = Sheets(ret).Cells(lin8, 2).Value

```

```
erro1:
h = h + c
Next

'nrl5pes*****'
For ret = 3 To 46
  lin9 = 1
  While Sheets(ret).Cells(lin9, 9) <> "nrl5pes"
    If lin9 > 1000 Then
      If Sheets(1).Cells(ret, 2).Value <= 26.9 Then
        'dia atendido pela norma
        c1 = 0
        Sheets("Resultado").Cells(ret, 3) = c1
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 8) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 9) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 10) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 11) = 0
        GoTo erro2
      Else
        'dia não atendido pela norma
```

```
        c1 = 0
        Sheets("Resultado").Cells(ret, 3) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 8) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 9) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 10) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 11) = "x"
        nai = nai + 1
        GoTo erro2
    End If
End If
lin9 = lin9 + 1
Wend

c1 = Sheets(ret).Cells(lin9, 16).Value
Sheets("Resultado").Cells(ret, 3) = c1
Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 8) = Sheets(ret).Cells(lin9, 2).Value
Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 9) = Sheets(ret).Cells(lin9, 3).Value
Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 10) = Sheets(ret).Cells(lin9, 4).Value
Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 11) = Sheets(ret).Cells(lin9, 5).Value
GoTo erro2
```

```

erro2:
i = i + c1
Next

'met1,77*****
For ret = 3 To 46
  lin10 = 1
  While Sheets(ret).Cells(lin10, 10) <> "met1,77"
    If lin10 > 1000 Then
      If Sheets(1).Cells(ret, 2) <= 28.6 Then
        'dia atendido pela norma
        c2 = 0
        Sheets("Resultado").Cells(ret, 4) = c2
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 14) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 15) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 16) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 17) = 0
        GoTo erro3
      Else
        'dia não atendido pela norma
        c2 = 0
        Sheets("Resultado").Cells(ret, 4) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 14) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 15) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 16) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 17) = "x"
        naj = naj + 1
        GoTo erro3
      End If
    End If
    lin10 = lin10 + 1
  Wend

  c2 = Sheets(ret).Cells(lin10, 16).Value
  Sheets("Resultado").Cells(ret, 4) = c2
  Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 14) = Sheets(ret).Cells(lin10, 2).Value
  Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 15) = Sheets(ret).Cells(lin10, 3).Value
  Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 16) = Sheets(ret).Cells(lin10, 4).Value
  Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 17) = Sheets(ret).Cells(lin10, 5).Value
  GoTo erro3

erro3:
j = j + c2
Next

'met2,16*****
For ret = 3 To 46
  lin11 = 1
  While Sheets(ret).Cells(lin11, 11) <> "met2,16"
    If lin11 > 1000 Then
      If Sheets(1).Cells(ret, 2).Value <= 27.6 Then
        'dia atendido pela norma
        c3 = 0

```

```

        Sheets("Resultado").Cells(ret, 5) = c3
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 20) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 21) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 22) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 23) = 0
        GoTo erro4
    Else
        'dia não atendido pela norma
        c3 = 0
        Sheets("Resultado").Cells(ret, 5) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 20) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 21) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 22) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 23) = "x"
        nak = nak + 1
        GoTo erro4
    End If
End If
lin11 = lin11 + 1
Wend

c3 = Sheets(ret).Cells(lin11, 16).Value
Sheets("Resultado").Cells(ret, 5) = c3
Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 20) = Sheets(ret).Cells(lin11, 2).Value
Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 21) = Sheets(ret).Cells(lin11, 3).Value
Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 22) = Sheets(ret).Cells(lin11, 4).Value
Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 23) = Sheets(ret).Cells(lin11, 5).Value
GoTo erro4

erro4:
k = k + c3
Next

'met2,94*****
For ret = 3 To 46
    lin12 = 1
    While Sheets(ret).Cells(lin12, 12) <> "met2,94"
        If lin12 > 1000 Then
            If Sheets(1).Cells(ret, 2).Value <= 25.5 Then
                'dia atendido pela norma
                c4 = 0
                Sheets("Resultado").Cells(ret, 6) = c4
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 26) = 0
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 27) = 0
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 28) = 0
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 29) = 0
                GoTo erro5
            Else
                'dia não atendido pela norma
                c4 = 0
                Sheets("Resultado").Cells(ret, 6) = "x"
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 26) = "x"
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 27) = "x"
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 28) = "x"
                Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 29) = "x"
            End If
            nal = nal + 1
            GoTo erro5
        End If
        lin12 = lin12 + 1
    Wend

    c4 = Sheets(ret).Cells(lin12, 16).Value
    Sheets("Resultado").Cells(ret, 6) = c4
    Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 26) = Sheets(ret).Cells(lin12, 2).Value
    Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 27) = Sheets(ret).Cells(lin12, 3).Value
    Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 28) = Sheets(ret).Cells(lin12, 4).Value
    Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 29) = Sheets(ret).Cells(lin12, 5).Value
    GoTo erro5

erro5:
l = l + c4
Next

```

```

'met4,32*****
For ret = 3 To 46
lin13 = 1
  While Sheets(ret).Cells(lin13, 13) <> "met4,32"
    If lin13 > 1000 Then
      If Sheets(1).Cells(ret, 2) <= 21.9 Then
        'dia atendido pela norma
        c5 = 0
        Sheets("Resultado").Cells(ret, 7) = c5
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 32) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 33) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 34) = 0
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 35) = 0
        GoTo erro6
      Else
        'dia não atendido pela norma
        c5 = 0
        Sheets("Resultado").Cells(ret, 7) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 32) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 33) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 34) = "x"
        Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 35) = "x"
        nam = nam + 1
        GoTo erro6
      End If
    End If
    lin13 = lin13 + 1
  Wend

  c5 = Sheets(ret).Cells(lin13, 16).Value
  Sheets("Resultado").Cells(ret, 7) = c5
  Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 32) = Sheets(ret).Cells(lin13, 2).Value
  Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 33) = Sheets(ret).Cells(lin13, 3).Value
  Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 34) = Sheets(ret).Cells(lin13, 4).Value
  Sheets("Parâmetros").Cells(ret, 35) = Sheets(ret).Cells(lin13, 5).Value
  GoTo erro6

erro6:
m = m + c5
Next

End Sub

```

- Variável k1

```

Private Sub CheckBox1_Change()
'inserir ou não k1 manualmente

If CheckBox1 = True Then
'inserir k1
  TextBox16.Enabled = True
ElseIf CheckBox1 = False Then
'não inserir k1
  TextBox16.Enabled = False
'preenchimento automático de k1
  TextBox16 = "5,7"
End If

End Sub

```

```

Private Sub UserForm_Initialize()
'inicia com k1 padrão

  TextBox16 = "5,7"

End Sub

```

- Tabela Suporte

```
Private Sub CommandButton3_Click()  
'botão de acesso à tabela suporte  
Unload bd  
Sheets("Tabela").Select  
End Sub
```

- Userform

PSP - Spot Cooling

O sistema utiliza dados de Temperaturas previamente inseridos na tabela "Suporte" com condições da cidade do Rio de Janeiro, para editá-las, acesse a tabela:

Constante k1: Inserir K1

Temperatura de Insuflação:	Intervalo	Repetição:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Vazão:	Intervalo	Repetição:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Altura do Difusor:	Intervalo	Repetição:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Diâmetro do Difusor:	Intervalo	Repetição:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Calcular Cancelar Tabela Suporte

- Resultado

```

Sub resultado ()
    Sheets(47).Name = "Resultado"
    Sheets(1).Select
    Range("A1").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
    Selection.Copy
    Sheets("Resultado").Select
    Range("A1").Select
    ActiveSheet.Paste
    Range("B2:F46").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.ClearContents
    Range("B2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "NR15mod"
    Range("C2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "NR15pes"
    Range("D2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Met1,77"
    Range("E2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Met2,16"
    Range("F2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Met2,92"
    Range("F1").Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
    Selection.Copy
    Range("G1").Select
    ActiveSheet.Paste
    Range("G2").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Met4,32"
    Cells.Select
    Cells.EntireColumn.AutoFit
    Range("A47").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Total"
    Range("B47").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=SUM(R[-44]C:R[-1]C)"
    Range("B47").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("B47:G47"), Type:=xlFillDefault
    Range("B47:G47").Select
    Range("J46").Select
    Range("A47:G47").Select
    Selection.Font.Bold = True
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorDark2
        .TintAndShade = -0.749992370372631
        .PatternTintAndShade = 0
    End With
    With Selection.Font
        .ThemeColor = xlThemeColorDark1
        .TintAndShade = 0
    End With
    Range("A1").Select

```

```

For ret = 3 To 46

Sheets("Resultado").Cells(ret, 1) = Sheets(1).Cells(ret, 1).Value

Next
Range("A1").Select
Range("A3:A46").Select
Selection.NumberFormat = "[$-x-systime]h:mm:ss AM/PM"
Range("H1").Select
Selection.Copy
Range("H2:AI206").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("A48:W207").Select
ActiveSheet.PasteSpecial Format:=4, Link:=1, DisplayAsIcon:=False, _
    IconFileName:=False
Range("A3:G46").Select
With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .ThemeColor = xlThemeColorDark1
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With
Range("K11").Select

End Sub

```

```

Sub parametros()

Sheets("Resultado").Select
Sheets("Resultado").Copy After:=Sheets(47)
Sheets("Resultado (2)").Select
Sheets("Resultado (2)").Name = "Parâmetros"
Range("F1:G1").Select
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-12
Range("F2:G51").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
Selection.ClearContents
Range("F47").Select
Selection.Copy
Range("A47:E47").Select
Range("E47").Activate
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
Selection.ClearContents
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-30
Range("A2:E46").Select
Selection.Copy
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-48
Range("G2").Select
ActiveSheet.Paste
Range("M2").Select
ActiveSheet.Paste
Range("S2").Select
ActiveSheet.Paste

```

```

Range("Y2").Select
ActiveSheet.Paste
Range("AE2").Select
ActiveSheet.Paste
Range("B2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.ClearContents
Range("H2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Range("N2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Range("T2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Range("Z2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Range("AF2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Range("AJ2:AK2").Select
Selection.Copy
Range("AJ3:BX211").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-24
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=-24
Range("A1:E1").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With
Selection.Merge
ActiveCell.FormulaR1C1 = "NR15mod"
Range("G1:K1").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With
Selection.Merge
ActiveCell.FormulaR1C1 = "NR15pes"
Range("M1:Q1").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False

```

```

End With
Selection.Merge
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Met 1,77"
Range("S1:W1").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .WrapText = True
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With
Selection.Merge
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Met 2,16"
Range("AC1").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToLeft)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToLeft)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range("Y1:AC1").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With
Selection.Merge
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Met 2,94"
Range("AE1:AI1").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With

Selection.Merge
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Met 4,32"
Range("AE1:AI1,Y1:AC1,S1:W1").Select
Range("S1").Activate
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=18
Range("AE1:AI1,Y1:AC1,S1:W1,Al:E1,G1:K1,M1:Q1").Select
Range("M1").Activate
With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .ThemeColor = xlThemeColorLight1
    .TintAndShade = 0.2499771111117893
    .PatternTintAndShade = 0
End With

```

```

Selection.Font.Bold = True
With Selection.Font
    .ThemeColor = xlThemeColorDark1
    .TintAndShade = 0
End With
With Selection.Font
    .Name = "Calibri"
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ThemeColor = xlThemeColorDark1
    .TintAndShade = 0
    .ThemeFont = xlThemeFontMinor
End With
With Selection.Font
    .Name = "Calibri"
    .Size = 11
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ThemeColor = xlThemeColorDark1
    .TintAndShade = 0
    .ThemeFont = xlThemeFontMinor
End With
Cells.Select
Cells.EntireColumn.AutoFit
Range("F6").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-36
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=0
Range("B2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temp i"
Range("C2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Vazão"
Range("D2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Altura"
Range("E2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Diâmetro"
Range("B2:E2").Select
Selection.Copy
Range("H2").Select
ActiveSheet.Paste

    Range("H2").Select
    ActiveSheet.Paste
    Range("N2").Select
    ActiveSheet.Paste
    Range("T2").Select
    ActiveSheet.Paste
    Range("Z2").Select
    ActiveSheet.Paste
    Range("AF2").Select
    ActiveSheet.Paste
    Application.CutCopyMode = False
    Range("F1").Select

End Sub

```