

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MATHEUS DAS NEVES ALMEIDA**

**PREDIÇÃO DO ERRO NO COMPORTAMENTO ECOLÓGICO DOS MOTORISTAS  
EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS DAS CABINES DE ÔNIBUS  
URBANO**

**PONTA GROSSA**

**2022**

**MATHEUS DAS NEVES ALMEIDA**

**PREDIÇÃO DO ERRO NO COMPORTAMENTO ECOLÓGICO DOS MOTORISTAS  
EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS DAS CABINES DE ÔNIBUS  
URBANO**

***Error prediction of drivers' ecological behavior as a function of thermal  
conditions in urban bus cabins***

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, DO Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier.

Coorientador(a): Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski.

**PONTA GROSSA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa**



MATHEUS DAS NEVES ALMEIDA

**PREDIÇÃO DO ERRO NO COMPORTAMENTO ECOLÓGICO DOS MOTORISTAS EM FUNÇÃO  
DAS  
CONDIÇÕES TÉRMICAS DAS CABINES DE ÔNIBUS URBANO**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 12 de Agosto de 2022

Dr. Antonio Augusto De Paula Xavier, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Aldo Braghini Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Antonio Carlos De Francisco, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Ariel Orlei Michaloski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fernando Simon Westphal, Doutorado - Universidade Federal de

Santa Catarina (Ufsc) Dr. Luiz Bueno Da Silva, Doutorado - Universidade

Federal da Paraíba (Ufpb)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 12/08/2022.

Dedico este trabalho  
à minha mãe, Rosilda,  
aos meus irmãos e familiares,  
a minha esposa e filho, Thalyta e Arthur  
e a todas as pessoas que me  
acompanharam nesta trajetória.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, quero agradecer a Deus pela minha vida e pela bênção de mais uma conquista na minha trajetória acadêmica.

À minha família, em especial à minha mãe Rosilda Almeida, esposa e filho Thalyta Campelo e Arthur Almeida, por estarem sempre ao meu lado durante esses quatro anos de aprendizado e crescimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Augusto de Paula Xavier, um exemplar ser humano e profissional que soube conduzir a pesquisa com paciência, sabedoria, comprometimento e dedicação.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski, pelos conselhos e aprendizados passados durante esses quatro anos de trabalho e de nossa convivência em laboratório.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do campus de Ponta Grossa-PR, por fomentar ensino público e de alta qualidade com os meios necessários para a minha formação como doutor.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI) e aos colegas de trabalho do curso de Engenharia de Produção, que acreditaram em mim e no meu trabalho quando me liberaram de minhas atividades de docente para a realização da pesquisa.

Aos colegas do laboratório LabErgo e da UTFPR, em especial ao Pedro Filipe, pelos conselhos e incentivos passados durante essa trajetória.

Ao Sindicato das Empresas de Transporte Coletivo Urbano de Passageiros do Município de João Pessoa (SINTUR JP), em especial ao Diretor Isaac Júnior Moreira e à Fabricia Milena Grisi de Araújo Fulgêncio, por confiarem em mim e no meu trabalho e por abrirem as portas da empresa para a execução desta pesquisa.

À empresa de transporte público de João Pessoa – PB, por permitir que a pesquisa fosse executada em seus transportes.

Aos motoristas Patrício, Juraci e Valdir, por colaborarem com a pesquisa, pelo carinho transmitido e pela amizade construída durante os dias de levantamento dos dados.

À todos aqueles ausentes de nome nessa página, mas que de uma forma ou de outra, colaboraram diretamente ou indiretamente com o êxito deste trabalho.

“Quem não muda a direção termina exatamente  
onde partiu.”  
(HUNTER, 2004)

## RESUMO

O aumento constante dos preços de combustíveis e dos desastres naturais devido ao aquecimento global ocasiona o interesse por pesquisas que visam a economia de combustíveis fósseis e a redução dos gases poluentes, provenientes desses combustíveis. Tendo em vista esse contexto, essa tese objetivou prever o erro no comportamento ecológico dos motoristas, em função das condições térmicas das cabines de ônibus urbano. Esse erro foi traduzido pela proporção do tempo que os motoristas não conseguem manter a velocidade do ônibus dentro dos limites de velocidade de cruzeiro ideal ( $35\text{km/h} \leq V_e \leq 50\text{km/h}$ ) em vias urbanas. As condições térmicas foram transcritas pelos parâmetros ambientais e pessoais, pelos índices *Predicted Mean Vote* (PMV) e temperatura equivalente do conforto térmico das ISO 7730 (2005) e ISO 14505-2 (2006), respectivamente, e pelos votos subjetivos de sensação, avaliação e preferência térmica da ISO 10551 (2019). A pesquisa de campo durou 60 dias, de setembro a dezembro de 2021, e observou 3 viagens diárias de 3 motoristas de uma mesma linha de ônibus. A análise dos dados foi feita por meio da metodologia de Modelos Lineares Generalizados, para gerar e avaliar a consistência de modelos de regressão logística ordinal para os votos subjetivos, e regressão Beta para o erro no comportamento ecológico. Logo, os parâmetros ambientais se mostraram significantes aos modelos dos votos subjetivos e, dentre esses parâmetros, a temperatura do ar esteve presente sozinha ou em conjunto com a velocidade do ar nos melhores modelos da sensação, avaliação e preferência térmica, cujos Pseudos  $R^2$  foram de 0,669, 0,467 e 0,437, respectivamente. Ademais, os índices PMV e temperatura equivalente podem ser considerados excelentes previsores (Pseudo $R^2=0,63$  e Pseudo $R^2=0,631$ , respectivamente) da sensação térmica percebida pelos motoristas de ônibus. Os modelos do erro no comportamento ecológico, quando ajustados, resultaram em 2 modelos adequados com variáveis distintas e com poder explicativo baixo (Pseudo $R^2=0,1785$  e Pseudo $R^2=0,1853$ ). Entretanto, os testes estatísticos indicaram que eles podem ser usados para avaliar parte da variabilidade da proporção do tempo que os motoristas não conseguem manter a velocidade do ônibus dentro dos limites de velocidade de cruzeiro ideal. Contudo, as variáveis que influenciaram no erro do comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbanos foram: o parâmetro ambiental, temperatura do ar; o parâmetro pessoal, taxa metabólica; e o índice PMV de Fanger.

Palavras-chave: conforto térmico; comportamento ecológico dos motoristas; transporte público.

## ABSTRACT

The constant increase in fuel prices and natural disasters due to global warming causes interest in research aimed at the economics of fossil fuels and the reduction of polluting gases from these fuels. In view of this context, this thesis aimed to predict the error in the ecological behavior of drivers as a function of the thermal conditions of urban bus cabins. This error was translated by the proportion of time that drivers cannot keep the bus speed within the ideal cruising speed limits ( $35\text{km/h} \leq V_e \leq 50\text{km/h}$ ) on urban roads. The thermal conditions were transcribed by the environmental and personal parameters, by the Predicted Mean Vote (PMV) and equivalent temperature from the thermal comfort of ISO 7730 (2005) and ISO 14505-2 (2006), respectively, and by the subjective votes of thermal sensation, evaluation and preference from ISO 10551 (2019). The field research lasted 60 days, from September to December 2021, and observed 3 daily trips by 3 drivers on the same bus route. Data analysis was performed using the Generalized Linear Models methodology to generate and evaluate the consistency of ordinal logistic regression models for subjective votes, and Beta regression for error in ecological behavior. Therefore, the environmental parameters proved to be significant to the models of the subjective votes and, among these parameters, the air temperature was present alone or together with the air velocity in the best models of thermal sensation, evaluation and preference, whose Pseudos'  $R^2$  were of 0.669, 0.467 and 0.437, respectively. Furthermore, the PMV and equivalent temperature indices can be considered excellent predictors (Pseudo  $R^2 = 0.63$  and Pseudo  $R^2 = 0.631$  respectively) of the thermal sensation perceived by bus drivers. The ecological behavior error models, when adjusted, resulted in 2 models with distinct variables and low explanatory power (Pseudo  $R^2 = 0.1785$  and Pseudo  $R^2 = 0.1853$ ). However, statistical tests have indicated that they can be used to assess some of the variability in the proportion of time drivers fail to keep the bus speed within optimal cruising speed limits. However, the variables that influenced the ecological behavior error of urban bus drivers were: environmental parameter, air temperature; the personal parameter, the metabolic rate; and the Fanger's PMV index.

Keywords: thermal comfort; drivers' ecological behavior; public transport.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – Quantitativo de artigos de conforto térmico em ônibus .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2 – Impacto da velocidade de cruzeiro no consumo de combustível.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 3 – Modelo de ônibus observado na pesquisa .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4 – Itinerário da linha disponibilizada.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 5 – Protocolo experimental do trabalho de campo.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 6 – Confortímetro Sensus® .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 7 – Posicionamento do confortímetro na cabine dos motoristas .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 8 – Ferramenta de monitoramento da velocidade dos ônibus .....</b>	<b>76</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção científica anual do conforto térmico em ônibus .....	33
Gráfico 2 – Relação do PMV – PPD.....	51
Gráfico 3 – Temperatura e umidade relativa do ar de João Pessoa .....	86
Gráfico 4 – <i>Boxplot</i> dos parâmetros ambientais por motorista .....	91
Gráfico 5 – <i>Boxplot</i> dos parâmetros ambientais por viagem .....	93
Gráfico 6 – Frequência dos votos de sensação térmica.....	102
Gráfico 7 – Curvas de probabilidade das sensações térmicas de mlo1 .....	104
Gráfico 8 – Curvas de probabilidade das sensações térmicas de mlo3 .....	105
Gráfico 9 – Curvas de probabilidade das sensações térmicas de mlo5 .....	106
Gráfico 10 – Resíduos escores das variáveis de mlo1, mlo3 e mlo5.....	108
Gráfico 11 – Resíduos parciais das variáveis de mlo1, mlo3 e mlo5.....	109
Gráfico 12 – Frequência dos votos de avaliação térmica .....	112
Gráfico 13 – Curvas de probabilidade das avaliações térmicas de mlo1.1 .....	114
Gráfico 14 – Curvas de probabilidade das avaliações térmicas de mlo3.1 .....	115
Gráfico 15 – Curvas de probabilidade das avaliações térmicas de mlo5.1 .....	116
Gráfico 16 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo1.1 .....	118
Gráfico 17 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo3.1 .....	119
Gráfico 18 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo5.1 .....	120
Gráfico 19 – Frequência dos votos de preferência térmica.....	123
Gráfico 20 – Curvas de probabilidade das preferências térmicas de mlo1.2...	125
Gráfico 21 – Curvas de probabilidade das preferências térmicas de mlo3.2...	126
Gráfico 22 – Curvas de probabilidade das preferências térmicas de mlo5.2...	127
Gráfico 23 – Resíduos escores e parciais da variável de mlo1.2.....	129
Gráfico 24 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo3.2.....	130
Gráfico 25 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo5.2.....	131
Gráfico 26 – Frequência dos índices <i>Predicted Mean Vote</i> calculados .....	134
Gráfico 27 – Curvas de probabilidade da sensação térmica de mlo1.3 .....	135
Gráfico 28 – Resíduos escores e parciais do mlo1.3 .....	137
Gráfico 29 – Frequência dos votos de percepção da sensação térmica.....	139
Gráfico 30 – Curvas de probabilidade de mlo 2.3.....	141
Gráfico 31 – Resíduos escores e parciais de mlo2.3 .....	142
Gráfico 32 – <i>Boxplot</i> do erro no comportamento ecológico com <i>outliers</i> .....	144
Gráfico 33 – <i>Boxplot</i> do erro no comportamento ecológico sem <i>outliers</i> .....	145
Gráfico 34 – Pontos de influência inconsistentes dos modelos ajustados .....	150
Gráfico 35 – Pontos de influência inconsistentes dos modelos adequados ...	151
Gráfico 36 – QQ-Plot Normal dos modelos adequados .....	152
Gráfico 37 – Resíduos versus preditor linear dos modelos adequados .....	153
Gráfico 38 – Resíduos versus índices dos modelos adequados .....	154
Gráfico 39 – Razão de chance do erro devido a “ta” e “M” .....	156
Gráfico 40 – Razão de chance do erro devido ao “PMV” e “M” .....	156

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 – Palavras-chave da revisão de conforto térmico em ônibus .....</b>	<b>27</b>
<b>Quadro 2 – Critérios de inclusão/exclusão considerados na revisão .....</b>	<b>27</b>
<b>Quadro 3 – Artigos incluídos na revisão de conforto térmico em ônibus .....</b>	<b>31</b>
<b>Quadro 4 – Palavras-chave mais relevantes do conforto térmico em ônibus ...</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 5 – Os periódicos mais relevantes do conforto térmico em ônibus .....</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 6 – Abordagens dos estudos de conforto térmico em ônibus .....</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 7 – Parâmetros do conforto térmico considerados nos ônibus .....</b>	<b>47</b>
<b>Quadro 8 – Modelos de conforto térmico utilizados nos estudos de ônibus ....</b>	<b>55</b>
<b>Quadro 9 – Normas utilizadas nos estudos de conforto térmico em ônibus.....</b>	<b>59</b>
<b>Quadro 10 – Variáveis independentes e suas unidades .....</b>	<b>69</b>
<b>Quadro 11 – Variáveis observadas e seus respectivos códigos .....</b>	<b>83</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado preliminar da revisão de conforto térmico em ônibus ....	28
Tabela 2 – Estatística descritiva do clima de João Pessoa .....	84
Tabela 3 – Estatísticas descritivas das variáveis mensuradas e calculadas .....	87
Tabela 4 – Dados mais extremos da condição térmica observada.....	88
Tabela 5 – Estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais por viagem e motorista .....	89
Tabela 6 – Estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais por motorista .	90
Tabela 7 – Estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais por viagem .....	92
Tabela 8 – Horários das medições das viagens por motoristas .....	94
Tabela 9 – Vestimenta típica dos motoristas de ônibus .....	95
Tabela 10 – Amostra para estimar o modelo da taxa metabólica .....	96
Tabela 11 – Resultados dos testes estatísticos aplicados em $M_x$ e $M$ .....	97
Tabela 12 – Valores das taxas metabólicas dos motoristas desta pesquisa.....	97
Tabela 13 – Matriz de correlação dos parâmetros do conforto térmico .....	99
Tabela 14– Quantitativo dos votos de sensação térmica .....	101
Tabela 15 – Modelos ajustados do voto de sensação térmica.....	102
Tabela 16 – Quantitativo dos votos de avaliação térmica .....	111
Tabela 17 – Modelos ajustados do voto da avaliação térmica .....	112
Tabela 18 – Quantitativo dos votos de preferência térmica .....	121
Tabela 19 – Modelos ajustados do voto de preferência térmica.....	123
Tabela 20 – Quantitativo dos índices <i>Predicted Mean Vote</i> calculados .....	133
Tabela 21 – Modelagem do “vst” em função do <i>Predicted Mean Vote</i> .....	134
Tabela 22 – Quantitativo dos votos de percepção da sensação térmica .....	139
Tabela 23 – Modelagem do “vst” em função da temperatura equivalente .....	140
Tabela 24 – Estatísticas descritivas do erro no comportamento ecológico ....	145
Tabela 25 – Matriz de correlação das condições térmicas .....	146
Tabela 26 – Modelos ajustados do erro no comportamento ecológico .....	148
Tabela 27 – Resultado da adequação dos modelos do erro no comportamento .....	150
Tabela 28 – Modelos do erro no comportamento ecológico .....	154
Tabela 29 – Valores estimados do erro no comportamento ecológico .....	157

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia
ABREPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
AED	Análise Exploratória de Dados
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers
CAN	Controller Area Network
CFD	Computational Fluid Dynamics
GPS	Global Positioning System
IBUTG	Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo
IEA	International Ergonomics Association
ISO	International Organization for Standardization
OBDs	On-Board Diagnostic scanners
OMS	Organização Mundial de Saúde
PEMS	Portable Emissions Measurement System
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
SET	Standard Effective Temperature
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature
VAT	Voto de Avaliação Térmica
VPT	Voto de Preferência Térmica
VST	Voto de Sensação Térmica

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau célsius
C	Transferência de calor por convecção (Wm-2)
cm	Centímetro
Er	Erro no comportamento ecológico
fcl	Razão entre a área da superfície corporal da vestimenta e do corpo nu
hc	Coefficiente de troca de calor por convecção (W/m <sup>2</sup> K)
hcla	Coefficiente de transferência de calor (adimensional)
Iclo	Isolamento térmico da vestimenta (clo)
M	Taxa metabólica (W/m <sup>2</sup> )
min	minuto
Pa	Pressão parcial de vapor de água (Pa)
Pas	Pressão de saturação do vapor d'água (Pa)
R	Transferência de calor por radiação (Wm-2)
ta	Temperatura do ar (°C)
tbu	Temperatura de bulbo úmido (°C)
tcl	Temperatura da superfície externa da roupa (°C)
teq	Temperatura equivalente (°C)
tg	Temperatura de globo (°C)
to	Temperatura operativa (°C)
trm	Temperatura radiante média (°C)
ts	Temperatura da superfície (°C)
UR	Umidade relativa do ar (%)
V	Velocidade do ônibus (km/h)
Va	Velocidade absoluta do ar em relação à uma pessoa estática (m/s);
Var	Velocidade do ar (m/s)
Ve	Velocidade ecológica (km/h)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>22</b>
1.3.1	Objetivo geral .....	22
1.3.2	Objetivos específicos.....	22
<b>1.4</b>	<b>Delimitação do tema</b> .....	<b>22</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura da tese</b> .....	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Estudos de conforto térmico em ambiente ônibus</b> .....	<b>25</b>
2.1.1	Resultado bibliométrico dos estudos de conforto térmico em ônibus .....	28
2.1.2	Conforto térmico e suas abordagens em ônibus .....	41
2.1.3	Parâmetros do conforto térmico .....	43
<u>2.1.3.1</u>	<u>Temperatura do ar (<math>t_a</math>):</u> .....	<u>43</u>
<u>2.1.3.2</u>	<u>Temperatura radiante média (<math>t_{rm}</math>):</u> .....	<u>44</u>
<u>2.1.3.3</u>	<u>Velocidade do ar (<math>v_a</math>):</u> .....	<u>45</u>
<u>2.1.3.4</u>	<u>Umidade relativa do ar (<math>u_r</math>):</u> .....	<u>45</u>
<u>2.1.3.5</u>	<u>Taxa metabólica (<math>M</math>):</u> .....	<u>46</u>
<u>2.1.3.6</u>	<u>Isolamento térmico da vestimenta (<math>i_{clo}</math>):</u> .....	<u>46</u>
2.1.4	Modelos e índices do conforto térmico e estresse térmico.....	48
<u>2.1.4.1</u>	<u>Índice PMV – PPD de Fanger</u> .....	<u>49</u>
<u>2.1.4.2</u>	<u>Modelo adaptativo</u> .....	<u>52</u>
<u>2.1.4.3</u>	<u>Temperatura equivalente</u> .....	<u>53</u>
<u>2.1.4.4</u>	<u>Índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG)</u> .....	<u>54</u>
2.1.5	Normas de conforto térmico aplicadas em ônibus.....	57
<b>2.2</b>	<b>Comportamento ecológico dos motoristas de ônibus</b> .....	<b>61</b>
2.2.1	Conceitos de direção ecológica.....	61
2.2.2	Índices da direção ecológica .....	62
2.2.3	Parâmetros do comportamento ecológico dos motoristas .....	64
<u>2.2.3.1</u>	<u>Velocidade de direção</u> .....	<u>65</u>
<u>2.2.3.2</u>	<u>Aceleração/desaceleração</u> .....	<u>67</u>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>69</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização das variáveis do estudo</b> .....	<b>69</b>

<b>3.2</b>	<b>Caracterização da amostra .....</b>	<b>70</b>
<b>3.3</b>	<b>Procedimentos de levantamento de dados .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4</b>	<b>Procedimento de análise de dados .....</b>	<b>77</b>
3.4.1	Cálculo do erro no comportamento ecológico .....	77
3.4.2	Cálculos dos índices de conforto térmico .....	78
3.4.3	Análise estatística .....	79
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>83</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise descritiva e estimativa dos parâmetros .....</b>	<b>83</b>
4.1.1	Estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais .....	83
4.1.2	Estimativa dos parâmetros pessoais .....	95
<b>4.2</b>	<b>Análise dos votos subjetivos dos motoristas .....</b>	<b>98</b>
4.2.1	Voto de sensação térmica .....	100
4.2.2	Voto de avaliação térmica .....	110
4.2.3	Voto de preferência térmica .....	121
<b>4.3</b>	<b>Análise dos índices de conforto térmico .....</b>	<b>132</b>
4.3.1	Predicted mean vote (PMV) .....	133
4.3.2	Temperatura equivalente (teq) .....	138
<b>4.4</b>	<b>Modelagem do erro no comportamento ecológico .....</b>	<b>143</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>158</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>164</b>
	<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE PESQUISA .....</b>	<b>177</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Existe um confronto entre proporcionar um nível de conforto adequado e satisfatório aos ocupantes de veículo e reduzir o consumo de combustível e emissão de gases do efeito estufa. Dependendo do que se procure para a adequação desse ambiente, é necessário modos operantes para satisfazer as exigências dos ocupantes, como por exemplo: a utilização de sistema de ar-condicionado e de ventilação para garantir o conforto térmico dos usuários, e como consequência tem-se o aumento do consumo de combustível e da emissão de gases.

Pesquisas de conforto em ônibus podem abranger as diretrizes do conforto térmico, acústico e lumínico, bem como de vibração, qualidade do ar e ergonômico (NGUYEN *et al.*, 2019; ZHANG; ZHOU; ZHANG, 2014), e essas diretrizes podem refletir no nível de serviço percebido pelos passageiros, e até mesmo na escolha por utilizar esse meio de transporte (LAI; CHEN, 2011; MORTON; CAULFIELD; ANABLE, 2016).

Sob o prisma do conforto térmico, pesquisas dessa natureza em meios de transportes vêm ganhando destaque devido aos impactos causados, que vão desde a manutenção da sensação de bem-estar térmico dos ocupantes, como também a garantia do desempenho satisfatório dos motoristas em termos de segurança no trânsito e na sustentabilidade energética por meio da redução do consumo de combustível ou energia dos veículos (ALAHMER *et al.*, 2011; CROITORU *et al.*, 2015).

As contribuições das pesquisas de conforto térmico em ônibus tendem a seguir essas três tendências, seja isoladamente ou com a combinação de dois ou mais desses impactos relatados. Esta afirmação pode ser validada ao verificar os estudos de Mansour *et al.* (2008), Shek e Chan (2008), Velt e Daanen (2017) e Cigarini *et al.* (2021), cujos autores buscaram o equilíbrio entre a sensação de bem-estar dos passageiros com a economia de energia (CIGARINI *et al.*, 2021; VELT; DAANEN, 2017) ou combustível (MANSOU *et al.*, 2008; SHEK; CHAN, 2008) dos ônibus.

Corroborando com o exposto, porém, de uma forma genérica, Enescu (2017) chamou atenção às implicações do conforto térmico nas atividades humanas em termos de questões energética, impacto ambiental e economia. Alinhado a esse pensamento, porém em atividade dos motoristas de caminhões, Diaz-Ramirez *et al.*

(2017) informaram que o consumo de combustível foi fortemente impactado, dentre outros fatores, pelo comportamento ecológico dos motoristas ligado ao excesso de aceleração, frenagem e velocidade.

Em uma revisão feita nas bases de dados Science Direct, Scopus, Spring Link e Web of Science, sem recorte temporal e tendo como foco as atividades dos motoristas de ônibus em conjunto com conforto térmico, Almeida, Xavier e Michaloski (2020) evidenciaram dois artigos (ISMAIL *et al.*, 2015b, 2015a) que buscaram relacionar as condições térmicas das cabines desse ambiente com desempenho desses profissionais. No entanto, Ismail *et al.* (2015b, 2015a) fizeram uma pesquisa qualitativa e questionaram os condutores sobre a opinião deles na interferência do ambiente térmico no seu desempenho, sem mensurar fisicamente os parâmetros do conforto térmico e nem o desempenho. Logo, pesquisas quantitativas que busquem relações entre o comportamento ecológico de dirigir vinculado ao consumo de combustível e/ou a direção segura, em tempo real, com os parâmetros do conforto térmico, parecem promissoras.

O comportamento ecológico dos motoristas está diretamente relacionado ao termo *eco-driving*, tanto em termos de economia de combustível como de redução de poluentes. Além disso, Mcconky, Chen e Gavi (2018) e Li *et al.* (2017) afirmaram que a prática de operar um veículo com objetivos ecológicos tem sido o foco de um número crescente de estudos de direção.

De acordo como Xu *et al.* (2017), é possível reduzir o consumo de combustível, tendo em vista as melhorias operacionais obtidas por meio da modificação do comportamento do motorista. Essa redução foi devido ao controle da limitação predominantemente das taxas de aceleração do veículo e das velocidades máximas atingidas (XU *et al.*, 2017). Em termos de números, as mudanças no comportamento ecológico dos motoristas podem acarretar numa redução de consumo de combustível superior a 10%, à curto prazo, e em torno de 5%, à longo prazo (LUIJT *et al.*, 2017; ZAVALKO, 2018).

Por outro lado, a correlação com a direção segura é importante para a segurança de todos os envolvidos, que inclui os motoristas, em alguns casos, os cobradores, assim como os passageiros e os pedestres. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), os acidentes de trânsito são uma das principais causas de mortes, feridos e vítimas no mundo (WHO, 2018). As

consequências desses tipos de acidentes estão associadas não somente aos problemas de saúde e vida das pessoas, mas também aos prejuízos econômico e social, na maioria dos países (DORN; AF WAHLBERG, 2008). Apesar disso, esse tipo de transporte público pode ser considerado uma das formas de transporte mais segura (CHIMBA; SANDO; KWIGIZILE, 2010).

O risco de acidentes causadores de mortes ou de ferimentos graves é considerado menor para os ocupantes de ônibus, em comparação aos de automóveis (ALBERTSSON; FALKMER, 2005; YANG *et al.*, 2009). Talvez, devido à essa decorrência, a atenção dada às pesquisas relativas ao conforto térmico nas cabines de motoristas de ônibus sejam menores que nas cabines dos motoristas de outros veículos, mas, mesmo assim os autores Nævestad *et al.* (2019) explicam que ainda cabe estratégias para melhorar a segurança e conseqüentemente, reduzir os acidentes nesse meio de transporte.

Uma parte resultante desse número de acidentes de ônibus pode ser atribuída às falhas dos motoristas desse meio de transporte público (RATANAVARAHA; JOMNONKWAO, 2014; VETTER *et al.*, 2018). Somando-se ao fator humano atribuído aos motoristas, os autores Khoo e Ahmed (2018) relatam mais outros fatores (ambiental, condições das estradas e tipo de veículo) como contribuintes que podem influenciar na ocorrência de um acidente de ônibus. Dentre esses fatores, o aspecto ambiental, presente em um ambiente operacional de ônibus, foi considerado altamente complexo em estudo prévio (STRATHMAN; WACHANA; CALLAS, 2010).

Diante deste contexto, este trabalho busca predizer o erro no comportamento ecológico dos motoristas, em função das condições térmicas das cabines dos ônibus urbano.

## **1.1 Problema**

Na seção 1, foi possível evidenciar que o desconforto térmico, como fator ambiental, pode afetar o desempenho dos motoristas e reduzir a direção ecológica e segura. Portanto, é importante determinar essa correlação para inseri-los em modelos de análise e prevenção de desempenho e, assim, aumentar a eficiência dos ônibus em termos de combustível/energia e reduzir o número de acidentes de

trânsito desse meio de transporte. Portanto, surge o seguinte questionamento a respeito deste contexto:

**Como as condições de desconforto térmico das cabines dos ônibus urbano influenciam no erro do comportamento ecológico dos motoristas?**

## 1.2 Justificativa

O crescimento e a expansão das cidades resultaram em uma grande parcela de pessoas fazendo uso dos meios de transportes públicos para se locomover. Entre os meios de transportes públicos existentes, o ônibus pode ser considerado o mais procurado e utilizado por essas pessoas (NGUYEN-PHUOC *et al.*, 2018b, 2018a; PRAKASH *et al.*, 2014).

Normalmente, os ocupantes dos ônibus (passageiros e colaboradores da empresa) percorrem grandes distâncias, passando uma parcela expressiva de seu tempo no interior desse ambiente e, em muitos casos, esse tempo tende a aumentar por conta do congestionamento causado pelo tráfego de veículos. Somado a esse fato, tem-se a busca por uma mobilidade confortável, redução de combustível, segurança dos envolvidos, entre outros fatores que têm repercutido no aumento do interesse em pesquisas voltadas para ambiente veicular (ALAHMER *et al.*, 2011; CROITORU *et al.*, 2015; DANCA; VARTIRES; DOGEANU, 2016). Portanto, essa pesquisa apresenta como ponto de partida esses pontos citados, que se traduzem em uma relevância social que preconiza o conforto térmico das cabines de ônibus aliando à direção segura e economia de combustível.

Ainda que o ponto de partida seja a relevância social, essa investigação beneficia a relevância acadêmica, visto que as poucas pesquisas anteriores sobre o desempenho motoristas dos ônibus, em função das condições termo ambientais das cabines, embora tenham sido valiosas, muitas vezes não representam suficientemente essas complexidades em fatores bem específicos e, com isso, é necessário ampliar a busca por fatores e, conseqüentemente, melhorar a predição do desempenho desses profissionais. E segundo Strathman, Wachana e Callas (2010), essa sub-representação pode estar relacionada à modelagem excessivamente carente de variáveis relevantes ou depende de variáveis que apenas representam um risco aproximado de segurança.

Portanto, esta pesquisa evidenciou por meio de uma revisão da literatura, que foram poucos os trabalhos que se dedicaram a analisar o conforto térmico nas cabines dos motoristas de ônibus. (ASSUNCAO; JARDIM; DE MEDEIROS, 2014; ISMAIL *et al.*, 2015b; PIMENTA; ASSUNÇÃO, 2015) e elas não representaram suficientemente todos os seis parâmetros relevantes e utilizados nos modelos normalizados de conforto térmico. Além disso, nenhuns desses trabalhos citados mensuraram os parâmetros do conforto térmico em sua amplitude, e nem os correlacionaram com o desempenho humano dos motoristas em termos de erros vinculados ao comportamento ecológico de dirigir.

Outra relevância que se beneficia dessa investigação é a industrial, pois a análise do comportamento ecológico dos motoristas está vinculada diretamente à economia de combustível dos ônibus, à redução da emissão de gases do efeito estufa e à prevenção de acidente de trânsito. O consumo de combustível dos ônibus é responsável por 20 a 30% dos custos operacionais de uma empresa que opera com esse meio de transporte (CHEN; YEH; WANG, 2020).

Dessa forma, estimar modelos que tenham a capacidade de prever a probabilidade do erro no comportamento ecológico dos motoristas devido à qualquer fator, como os do conforto térmico, é de suma importância, não só para as empresas cuja finalidade é transportar pessoas, mas também para empresas automobilísticas que desenvolvem melhorias nas cabines dos motoristas, visando promover a segurança, economia de combustível e conforto no trânsito.

Dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) propostos pela *United Nations* (UN, 2021) tem-se a “ação contra a mudança global do clima”. Esse ODS tem a premissa de frear o aquecimento global, por meio da redução dos gases de efeito estufa e da poluição do ar (UN, 2021).

Diante disso, esse projeto tem implicações diretas nesse contexto, pois o setor de transportes é responsável por uma parcela substancial do consumo de combustível e energia (CHEN; YEH; WANG, 2020; KIM *et al.*, 2018; ROLIM; BAPTISTA, 2018), e o termo *eco-driving* provou ser eficaz na redução desse tipo de consumo e na emissão dos gases de efeito estufa provocados pela melhoria do comportamento dos motoristas dos transportes (SAVKOVIĆ *et al.*, 2019; WANG; BOGGIO-MARZET, 2018; XU *et al.*, 2017). Portanto, esse ponto é mais uma justificativa plausível para a execução desse projeto.

### 1.3 Objetivos

Os objetivos desta pesquisa foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

#### 1.3.1 Objetivo geral

Estabelecer modelos de predição do erro no comportamento ecológico dos motoristas, em função das condições térmicas das cabines dos ônibus urbano.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Mensurar os parâmetros ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e velocidade do ar) das cabines dos ônibus urbano;
- Estimar os parâmetros pessoais (taxa metabólica e isolamento térmico das vestimentas) dos motoristas de ônibus urbano;
- Analisar a relação da sensação, preferência e avaliação térmica dos motoristas de ônibus urbano com os parâmetros ambientais e pessoais;
- Avaliar se os índices *Predicted Mean Vote* de Fanger e a temperatura equivalente podem ser utilizados como previsores da sensação térmica dos motoristas de ônibus urbano;
- Determinar a existência ou não de conforto ou de estresse térmico a que estão sujeitos os motoristas de ônibus urbano;
- Mensurar o erro no comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano em tempo real;
- Verificar a influência dos parâmetros e dos índices do conforto térmico no erro do comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbanos;

### 1.4 Delimitação do tema

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2018), a Engenharia de Produção no Brasil é dividida em dez grandes áreas, e dentre essas áreas, o tema desta pesquisa se enquadra na Engenharia do Trabalho. Ainda de acordo com a ABEPRO, dentro desta área encontram-se as subáreas de Ergonomia, cujo presente trabalho versa nessa subárea.

Conforme a *International Ergonomics Association* (IEA, 2018) a Ergonomia é vista como uma disciplina científica que objetiva a compreensão das interações entre humanos e outros elementos de um sistema, e os profissionais podem aplicar teoria, princípios, dados e métodos. Ademais, a Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO) divide a Ergonomia em fatores físicos, cognitivos e organizacionais (ABERGO, 2018). A Ergonomia física, segundo o Iida e Buarque (2016), ocupa-se das características da anatomia e fisiologia humanas quando relacionados à atividades físicas, sendo um dos tópicos de relevância, o projeto de ambiente físico de trabalho, o qual está correlacionado a conforto ambiental, e esse se relaciona especificamente com o tema proposto.

No tocante ao conforto ambiental, pode-se dizer que é uma parte importante da Ergonomia, tendo em vista que condições desfavoráveis como: excesso de calor, ruídos, vibrações e gases nocivos, podem causar tensão e estresse no ambiente de trabalho (IIDA; BUARQUE, 2016) e, conseqüentemente, influencia diretamente na produtividade e no bem-estar dos colaboradores. Atentando às pesquisas de conforto ambiental em ônibus, esse domínio do conhecimento pode se dividir em conforto: térmico; acústico; de iluminação; vibração; qualidade do ar; da aceleração e ergonômico (NGUYEN *et al.*, 2019; ZHANG; ZHOU; ZHANG, 2014).

O tema central dessa investigação trata do conforto térmico, que se busca levantar os parâmetros térmicos e traçar modelos capazes de prever a sensação térmica neste ambiente, assim como define o método a ser utilizado para a avaliação do mesmo (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2016). Tendo em vista os aspectos abordados, esse trabalho se delimita ao tema conforto térmico do ambiente veicular ônibus, com o intuito de levantar as condições térmicas das cabines dos motoristas de ônibus e correlacionar com o erro no comportamento ecológico desses profissionais e, com isso, desenvolver modelos que sejam capazes de relacionar essas variáveis.

## **1.5 Estrutura da tese**

Esta tese foi estruturada em cinco capítulos.

No primeiro capítulo apresentou-se uma introdução aos temas abordados, o problema com sua questão de pesquisa, a justificativa, o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura da tese.

O segundo capítulo traz o referencial teórico que aborda os temas conforto térmico e comportamento ecológico dos motoristas em duas seções distintas. A seção dirigida ao conforto térmico dedicou-se a expor este tema vinculando-o ao ambiente veicular ônibus, por meio das abordagens assumidas por pesquisas publicadas em periódicos acadêmicos, dos parâmetros do conforto térmico investigados neste ambiente e aos índices e modelos normalizados utilizados para embasar estas pesquisas. A seção do comportamento ecológico buscou endossar os conceitos deste tema e apresentar os índices e parâmetros vinculados à dimensão operacional que estão ligados aos estilos de direção dos motoristas.

A metodologia seguida pela pesquisa de campo está exposta no capítulo três. Dessa forma, as caracterizações das variáveis e da amostra foram apresentadas, como também, foram descritos os procedimentos de levantamento e análise de dados seguindo um protocolo da pesquisa.

Em seguida, os resultados são apresentados em quatro seções maiores. A primeira traz a estatística descritiva dos parâmetros ambientais mensurados nas cabines dos motoristas de ônibus interurbanos e as estimativas dos parâmetros pessoais da amostra de motoristas. A segunda seção demonstra os modelos de Regressão Logística Ordinal, gerados a partir dos votos subjetivos da sensação, avaliação e preferência térmica dos motoristas, em função dos parâmetros do conforto térmico. A seção terciária apresenta os modelos de Regressão Logística Ordinal dos votos de sensação térmica, em função dos índices de conforto térmico PMV e temperatura equivalente. A última seção do resultado trata da modelagem do erro no comportamento ecológico dos motoristas, em função dos índices e parâmetros do conforto térmico.

Por fim, o último capítulo apresenta as considerações finais, o alcance dos objetivos e as oportunidades para estudos futuros.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresentará os principais assuntos das literaturas específicas e aspectos considerados relevantes para a elaboração desta tese e, diante disso, ele está dividido em duas subseções maiores.

A subseção 2.1 tem como objetivo analisar os estudos referentes ao tema conforto térmico executados em ambientes das cabines de ônibus. Para tanto, o autor adaptou parte de seu artigo de periódico (ALMEIDA; XAVIER; MICHALOSKI, 2020), somando-se a uma revisão dos principais pontos desse tema e até questões mais específicas exigidas para esse ambiente térmico a ser explorado, que foi adaptada de seu artigo de congresso internacional (ALMEIDA *et al.*, 2020).

A subseção 2.2 objetiva identificar as correntes de pensamento referentes à modelagem do comportamento dos atos dos motoristas em função da economia de combustível e segurança, a fim de identificar as que possam ser utilizadas como ferramentas metodológicas para mensurar os erros dos comportamentos ecológico dos motoristas de ônibus.

### 2.1 Estudos de conforto térmico em ambiente ônibus

Tendo o tema delimitado, que centrou nos aspectos voltados para conforto térmico em ambiente das cabines de ônibus, os esforços foram concentrados para definir a intenção de pesquisa, que foi norteada em função das seguintes Questões de Partida (QP).

**QP<sub>1</sub>: Quais foram as abordagens assumidas nos estudos de conforto térmico executados nas cabines de ônibus?**

No geral, os estudos de conforto térmico em ambiente veicular podem assumir abordagens em três direções isoladamente ou em combinação. As três direções são: a satisfação térmica dos ocupantes, que pode ser expressa em termos de bem-estar, saúde e segurança de todos os ocupantes; desempenho, que normalmente está vinculado à performance dos motoristas e à conservação energia/combustível dos veículos (ALAHMER *et al.*, 2011; CROITORU *et al.*, 2015).

**QP<sub>2</sub>: Quais parâmetros do conforto térmico foram investigados nos estudos que analisaram as cabines de ônibus?**

Os seis parâmetros essenciais utilizados em modelos de conforto térmico estão divididos em ambientais e pessoais (BRODAY; RUIVO; GAMEIRO, 2020;

PALA; OZ, 2015; SIMION; SOCACIU; UNGURESAN, 2016). Os parâmetros ambientais são representados pela temperatura do ar ( $t_a$ ), velocidade do ar ( $V_a$ ), umidade do ar (UR) e temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ), e os pessoais correspondem à taxa metabólica (M) e isolamento térmico das vestimentas ( $I_{clo}$ ) (ALMEIDA *et al.*, 2020; BRODAY; RUIVO; GAMEIRO, 2020; ENESCU, 2017; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015).

**QP<sub>3</sub>: Quais modelos ou índices normalizados de conforto térmico foram utilizados para avaliar as cabines de ônibus?**

Algumas tentativas de geração de modelos do conforto térmico podem ser encontradas na literatura. No entanto, os modelos e índices normalizados internacionalmente para esse fim e que comumente são aplicados ao ambiente veicular são: o modelo de Fanger, *Predicted Mean Vote – Predicted Percentage Dissatisfied* (PMV – PPD); *Standard Effective Temperature* (SET); Temperatura equivalente ( $T_{eq}$ ); e Índice Wet Bulb Globe Temperature (WBGT-Index) ou Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) (ASHRAE - 55, 2017; ISO 7243, 2017; ISO 7730, 2005; ISO 7933, 2004).

**QP<sub>4</sub>: Os estudos que analisaram as condições térmicas das cabines de ônibus seguiram quais normas internacionais de conforto térmico?**

As principais normas empregadas em estudos de conforto térmico no geral (ASHRAE - 55, 2017; ISO 10551, 2019; ISO 7243, 2017; ISO 7726, 1998; ISO 7730, 2005; ISO 7933, 2004; ISO 8996, 2004; ISO 9920, 2007) são oriundas das instituições *International Organization for Standardization* (ISO) e *American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers* (ASHRAE). Além disso, como o ambiente térmico em questão é o ônibus, existem normas específicas desse campo de conhecimento voltadas para o ambiente veicular, como por exemplo, os exemplares da série da ISO 14505 (ISO 14505-1, 2007; ISO 14505-2, 2006; ISO 14505-3, 2006).

Após definir as questões de partidas, adotou-se a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) proposta por (MOHER *et al.*, 2009) por meio das quatro etapas: identificação, triagem, seleção e inclusão das obras. Vale ressaltar que os *softwares* Mendeley, JabRef, Microsoft Excel versão estudantil e R Project com o *script* do Bibliometrix (ARIA;

CUCCURULLO, 2017) foram utilizados como ferramentas no tratamento e análise das obras.

A etapa de identificação dos estudos foi executada tendo em vista os dois eixos temáticos supracitados (**conforto térmico** e **cabines de ônibus**) que foram traduzidos pelas palavras-chave do Quadro 1.

**Quadro 1 – Palavras-chave da revisão de conforto térmico em ônibus**

Palavra-chave	Operador	Palavras-chave
Bus	AND	<i>Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)</i>
		<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i>
		<i>Thermal Comfort</i>
		<i>Thermal Discomfort</i>

**Fonte: Autoria própria (2020)**

No Quadro 1, é possível verificar às duas colunas das palavras-chave referentes aos dois eixos temáticos citados, onde a primeira se refere ao ambiente térmico a ser explorado e, na terceira, encontram-se as expressões e suas variantes do eixo temático conforto térmico.

Além do operador *booleano AND* utilizado para combinar as palavras-chave das duas colunas citadas do Quadro 1, essa investigação utilizou o *OR* entre as palavras da terceira coluna. Dessa forma, a combinação final foi expressa pela expressão: "*bus*" *AND* ("*PPD*" *OR* "*PMV*" *OR* "*Predicted Percentage Dissatisfied*" *OR* "*Predicted Mean Vote*" *OR* "*thermal comfort*" *OR* "*thermal discomfort*").

Posteriormente, pesquisou-se nas bases de dados Science Direct, Scopus, Spring Link e Web of Science até o dia 17/10/2020 e sem recorte temporal.

Depois da etapa 1, a etapa de triagem foi concebida, tendo como referência os critérios de inclusão e exclusão das obras presentes no Quadro 2.

**Quadro 2 – Critérios de inclusão/exclusão considerados na revisão**

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Artigos de pesquisa e revisão;	Artigos que não sejam de pesquisa e de revisão;
Artigos na língua inglesa, francesa, espanhol e portuguesa;	Artigos em outra língua;
	Artigos sem informações básicas de citação (nome do(s) autor (es), título e ano);
Artigos publicados até 2020	Artigos em duplicidades;

**Fonte: Autoria própria (2020)**

Os critérios do Quadro 2 foram aplicados em dois momentos durante a etapa de triagem. Primeiramente, aplicaram-se os critérios nas bases de dados, a fim de filtrar os artigos na busca preliminar e, posterior, eles foram aplicados no decorrer da etapa de triagem pelo pesquisador, por meio do *software* de gestão de referências

(Mendeley), caso algum artigo indesejado passasse pela triagem das bases de dados.

Depois da triagem dos estudos, a pesquisa se deteve na seleção dos artigos de pesquisa que foram submetidos ao processo de seleção (etapa 3). Para a etapa de seleção, determinou-se o critério de elegibilidade, que se centrou em artigos dentro do escopo (**conforto térmico e cabines de ônibus**). Esse critério foi examinado por meio da leitura do título, resumo e palavras-chave nos artigos de pesquisa que passaram da triagem.

Por fim, a etapa de inclusão formou um portfólio de artigos de pesquisas composto pelos que passaram pela etapa de seleção e os que citaram os elegíveis. Dessa forma, além dos artigos encontrados nas bases citadas e considerados elegíveis, foram incluídos nessa etapa os artigos que foram encontrados no Google Scholar e que citaram os artigos que passaram pela fase de elegibilidade.

As limitações deste estudo estão relacionadas com a metodologia em dois pontos principais, são elas: a escolha das bases de dado da literatura, que se restringiu a Science Direct, Scopus, Springer Link e Web of Science; e o selecionamento das obras que foram analisadas, pois se priorizou os artigos de revisão e de pesquisa para compor as seções introdutórias e de resultado/discussões, respectivamente.

### 2.1.1 Resultado bibliométrico dos estudos de conforto térmico em ônibus

Com a aplicação do método de revisão sistemático da literatura adotado por essa pesquisa, chegou-se ao resultado total preliminar de 1.091 obras que está apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Resultado preliminar da revisão de conforto térmico em ônibus**

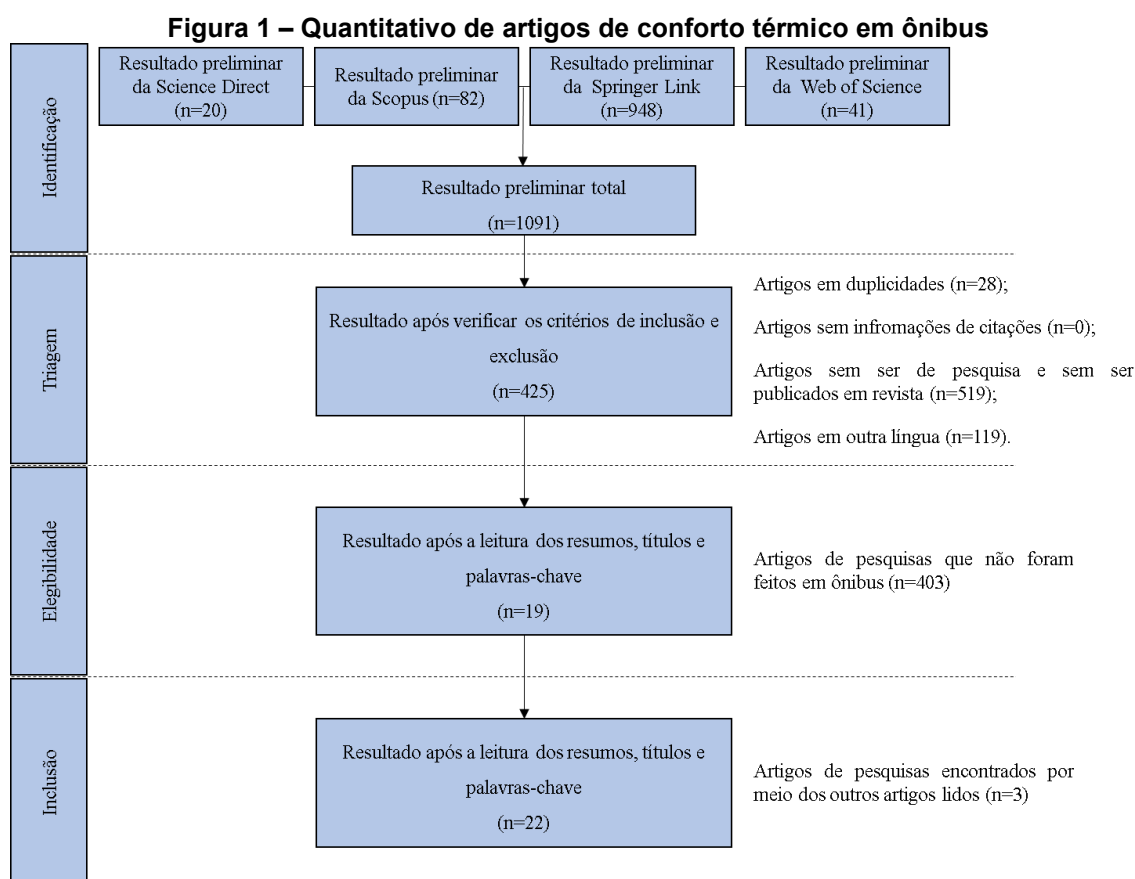
Tipo de documento	Bases de dados			
	Science Direct	Scopus	Springer Link	Web of Science
Artigo de revisão	0	0	0	0
Artigo de pesquisa	18	40	349	31
Artigo de conferência	0	42	77	9
Outros	2	0	599	1
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>82</b>	<b>948</b>	<b>41</b>

Fonte: Autoria própria (2020)

De acordo com a Tabela 1, não houve artigos de revisão que considerasse os dois prismas (**conforto térmico e cabines de ônibus**), pesquisados em

conjunto. Além disso, nota-se que a base Springer Link retornou, à princípio, o maior número de artigos, seguido da Scopus, Web of Science e Science Direct respectivamente.

Tendo por base o total de 1.091 artigos encontrados na etapa de identificação, foi que se prosseguiu com o método adotado. Diante disso, a Figura 1 resume todos os resultados das outras etapas delineadas para obtenção das respostas das questões de partidas formuladas.



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Na Figura 1, verificam-se os resultados de cada etapa do método adotado, e também, é possível verificar os critérios de inclusão, exclusão e de elegibilidade e seus respectivos resultados. Diante disso, dos 22 artigos de pesquisas incluídos, 3 (MUI; SHEK, 2005; VOLLARO, 2013; ZHU; DEMOKRITOU; SPENGLER, 2010) foram encontrados porque citaram um dos 19 artigos elegíveis dessa revisão.

O resultado final encontrado nessa pesquisa está apontado no Quadro 3, onde apresenta, além dos nomes dos autores, títulos dos artigos e jornal onde foi publicado, as informações dos países, dos tipos de estudo desenvolvido

(experimental e/ou de campo) e a caracterização das amostras, objeto dos estudos levantados.

**Quadro 3 – Artigos incluídos na revisão de conforto térmico em ônibus**

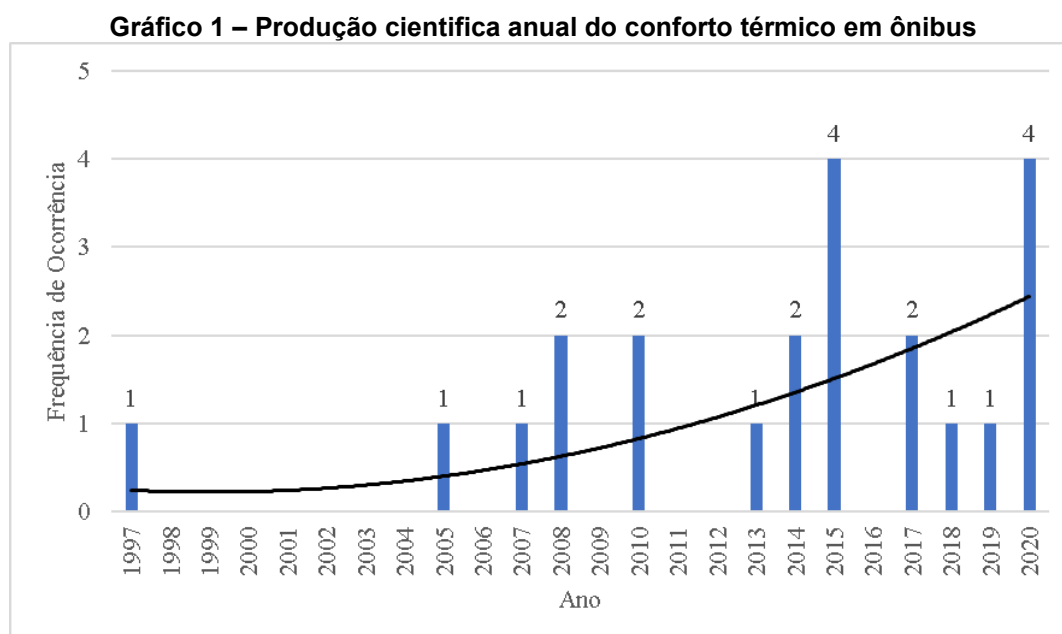
Referência	Título	Periódico	Ano	Citação	País	Tipo de estudo	Ambiente
Zhu <i>et al.</i> (2020)	Passenger comfort and ozone pollution exposure in an air-conditioned bus microenvironment	Environmental Monitoring and Assessment	2020	0	China	Experimental e de campo	Cabines dos passageiros
Pala (2020)	Investigation of Thermal Comfort for Bus Passengers During a Cooling Test Inside a Climatic Chamber	Journal of Polytechnic-Politeknik Dergisi	2020	0	Turquia	Experimental	Cabines dos passageiros
Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020)	Numerical Investigation of Airflow Patterns and Thermal Comfort in a Bus Cabin	Sae International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems	2020	0	Egito	Experimental	Cabines dos passageiros
Zhang <i>et al.</i> (2020)	The threshold effects of bus micro-environmental exposures on passengers' momentary mood	Transportation Research Part D-Transport and Environment	2020	1	China	Campo	Cabines dos passageiros
Makowiec-Dąbrowska <i>et al.</i> (2019)	Climate conditions and work-related fatigue among professional drivers	International Journal of Biometeorology	2019	7	Polônia	Campo	Cabines dos motoristas
Zhu <i>et al.</i> (2018a)	Air quality and passenger comfort in an air-conditioned bus micro-environment	Environmental Monitoring and Assessment	2018	3	China	Experimental	Cabines dos passageiros
Velt e Daanen (2017)	Optimal bus temperature for thermal comfort during a cool day	Applied Ergonomics	2017	15	Holanda	Campo	Cabines dos passageiros
Unal (2017)	An Experimental Study on a Bus Air Conditioner to Determine Its Conformity to Design and Comfort Conditions	Journal of Thermal Engineering	2017	5	Turquia	Experimental	Ônibus
Pala e Oz (2015)	An investigation of thermal comfort inside a bus during heating period within a climatic chamber	Applied Ergonomics	2015	34	Turquia	Experimental	Cabines dos passageiros
Pimenta e Assunção (2015)	Thermal discomfort and hypertension in bus drivers and chargers in the metropolitan region of Belo Horizonte, Brazil	Applied Ergonomics	2015	15	Brasil	Campo	Ônibus
Ismail <i>et al.</i> (2015b)	Relationship between thermal comfort and driving performance among Malaysian bus driver	ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences	2015	3	Malásia	Campo	Cabines dos motoristas

Ismail <i>et al.</i> (2015a)	A descriptive analysis of factors contributing to bus drivers' performances while driving: A case study in Malaysia	International Journal of Automotive and Mechanical Engineering	2015	16	Malásia	Campo	Cabines dos motoristas
Assuncao, Jardim e De Medeiros (2014)	Voice complaints among public transport workers in the metropolitan region of Belo Horizonte, Brazil	Folia Phoniatica et Logopaedica	2014	1	Brasil	Campo	Ônibus
Zhang, Zhou e Zhang (2014)	Evaluating bus transit performance of Chinese cities: Developing an overall bus comfort model	Transportation Research Part A: Policy and Practice	2014	22	China	Campo	Cabines dos passageiros
Vollaro (2013)	Indoor Climate Analysis for Urban Mobility Buses: a CFD Model for the Evaluation of thermal Comfort	International Journal of Environmental Protection and Policy	2013	10	Itália	Experimental e de campo	Cabines dos passageiros
Lin <i>et al.</i> (2010)	Passenger thermal perceptions, thermal comfort requirements, and adaptations in short- and long-haul vehicles	International Journal of Biometeorology	2010	35	China	Campo	Cabines dos passageiros
Zhu, Demokritou e Spengler (2010)	Experimental and numerical investigation of micro-environmental conditions in public transportation buses	Building and Environment	2010	56	EUA	Experimental e de campo	Cabines dos passageiros
Mansour <i>et al.</i> (2008)	Development of novel control strategy for multiple circuit, roof top bus air conditioning system in hot humid countries	Energy Conversion and Management	2008	25	China	Experimental	Cabines dos passageiros
Shek e Chan (2008)	Combined comfort model of thermal comfort and air quality on buses in Hong Kong	Science of The Total Environment	2008	50	China	Campo	Cabines dos passageiros
Mansour <i>et al.</i> (2007)	Development of a novel control strategy for a multiple-circuit roof-top bus air-conditioning system in hot humid countries	International Journal of Mechanical and Materials Engineering	2007	2	China	Experimental	Cabines dos passageiros
Mui e Shek (2005)	Influence of in-tunnel environment to in-bus air quality and thermal condition in Hong Kong	Science of The Total Environment	2005	9	China	Campo	Cabines dos passageiros
Conceição, Silva e Viegas (1997)	Airflow around a passenger seated in a bus	HVAC and R Research	1997	16	Portugal	Experimental	Cabines dos passageiros

Fonte: Autoria própria (2020)



O Gráfico 1 exibe o gráfico de frequência de artigos publicados por ano, que levaram em consideração o ambiente das cabines de ônibus na análise do conforto térmico.



**Fonte: Autoria própria (2020)**

No geral, de acordo com a linha de tendência (linha de cor preta) do Gráfico 1, houve uma tendência crescente do número de publicações ao longo dos anos. Esse crescimento tendencioso foi impulsionado depois do ano de 2007 por dois motivos principais: primeiramente, pelo aumento médio do número de publicações por ano, que passou de 1 para 2 artigos; e posteriormente, pelos picos nos anos de 2015 e 2020, com 4 publicações cada. Portanto, pode-se inferir que as atenções para o ambiente das cabines de ônibus, por parte dos pesquisadores dessa área de conhecimento, vêm aumentando e, com isso, cresce a importância de se analisar termicamente as cabines de ônibus.

O Gráfico 1 mostra que a primeira publicação inerente ao conforto térmico visando o ambiente das cabines de ônibus foi em 1997 por Conceição, Silva e Viegas (1997). Esse feito aconteceu 27 anos após a publicação do modelo de Fanger e, com isso, Conceição, Silva e Viegas (1997) podem ser considerados os pioneiros da aplicação dessa área de conhecimento em ambiente de ônibus.

Após esse ocorrido, se passaram 8 anos para a próxima publicação de Mui e Shek (2005) e, daí em diante, surgiram outros estudos, conforme detalhados nos parágrafos seguintes. Vale destacar que, durante a exposição do estado da arte nos próximos parágrafos, o termo conforto térmico possui relação forte com as condições

climáticas ou pode estar correlacionado com algum parâmetro dos seis apresentados na seção metodológica e, dessa forma, uma pesquisa pode investigar as condições microclimáticas dos ônibus, e seu autor referir o estado de conforto térmico dos ocupantes.

Seguindo uma ordem cronológica do resultado dessa investigação apresentado no Quadro 3, Conceição, Silva e Viegas (1997) objetivaram caracterizar o fluxo de ar no entorno dos passageiros e avaliaram as condições de conforto térmico percebidas por eles em um estudo experimental. Para isso, os autores planejaram quatro possíveis situações em que os ocupantes podem se encontrar no ônibus, e essas situações levaram em consideração o fato de ter cortinas ou não, e se o assento é no corredor ou na janela.

A contribuição do estudo de Conceição, Silva e Viegas (1997) foi em distinguir as situações consideradas confortáveis ou não, por meio dos índices PMV-PPD de Fanger. Com os achados, os autores descobriram que os passageiros que estavam sentados no corredor e com as cortinas fechadas, se sentiram confortáveis com os valores dos índices na faixa de  $PMV = -0,43$  e  $PPD < 10\%$ . As demais situações foram reprovadas, visto que, com as cortinas fechadas e os passageiros sentados ao lado das janelas, gerou um desconforto térmico por frio, com o PMV negativo, e as outras duas geraram um desconforto por calor, com o PMV positivo.

Posteriormente, os autores Mui e Shek (2005) publicaram um artigo com o objetivo de estudar a exposição dos passageiros de ônibus a parâmetros aéreos, como o monóxido e o dióxido de carbono ( $CO$  e  $CO_2$ ), e ao ambiente térmico (temperatura do ar e umidade relativa), quando os ônibus viajaram ao longo de túneis em Hong Kong. Diante disso, os autores concluíram que os ônibus com ar-condicionado proporcionam um melhor ambiente (qualidade do ar e térmico) e eles são capazes de proteger os passageiros da exposição a ambientes dinâmicos e pobres de estrada, como os dentro dos túneis. Em contrapartida, os ônibus sem ar-condicionado obtiveram um desempenho melhor na qualidade do ar nas entradas e saídas dos túneis quando comparados aos com ar-condicionado.

Em 2007, os autores Mansour *et al.* (2007) publicaram um estudo experimental com o objetivo de propor uma estratégia de controle, por meio do PMV de Fanger, para um controlador automático do novo sistema de ar-condicionado, e compararam com o desempenho do sistema convencional. Com isso, a comparação

revelou que a estratégia de controle proposta foi capaz de introduzir melhorias significativas no desempenho térmico e econômico dos ônibus, quando comparado ao sistema convencional.

No ano de 2008, foram evidenciadas duas publicações relevantes: a primeira obra dos autores Mansour *et al.* (2008), foi idêntica à descrita em 2007 por Mansour *et al.* (2007); e a segunda foi a dos autores Shek e Chan (2008). Diante disso, os autores Shek e Chan (2008), propuseram modelos de conforto combinados (conforto térmico e qualidade do ar) capazes de indicar o conforto de deslocamento no ônibus. Esses modelos foram desenvolvidos por meio da correlação de parâmetros objetivos da qualidade do ar e térmicos e dos votos subjetivos de sensação dos passageiros. Contudo, os autores concluíram que o conforto térmico tinha uma posição mais dominante no nível de conforto combinado percebido pelos passageiros em ambos os ônibus, com e sem ar-condicionado.

Em 2010, também foram encontrados dois estudos (LIN *et al.*, 2010; ZHU; DEMOKRITOU; SPENGLER, 2010). Lin *et al.* foram em busca de respostas dos passageiros para algumas questões relativas ao conforto térmico dos ônibus de curta e longa distância (LIN *et al.*, 2010). Para tanto, os autores citados cruzaram os votos subjetivos de conforto, sensações e preferência térmica dos passageiros, e descobriram que as temperaturas mais altas, a forte radiação solar e a baixa velocidade do ar são as principais razões para o desconforto térmico nas cabines dos passageiros.

Zhu, Demokritou e Spengler (2010) utilizaram o modelo 3D de *Computational Fluid Dynamics* (CFD) para examinar numericamente as condições microclimáticas dos ônibus em termos de idade média e do tempo de vida residual médio do ar, e fizeram um experimento para monitorar a exposição dos passageiros à essas condições. Contudo, os autores indicaram que, para as condições de inverno adotadas, a faixa de conforto térmico foi encontrada no lado mais quente da zona de conforto recomendada pela ASHRAE 55.

Vollaro (2013) utilizou um *software* Computational Fluid Dynamics (CFD) a fim de simular numericamente o clima interno de ônibus urbanos e, posteriormente, ele fez um estudo experimental na Itália para validar o modelo proposto por ele em condições particulares de verão. Essa proposta veio para sanar a carência de padrões de avaliação e classificação da qualidade do ambiente térmico em veículos

que, segundo os autores, não existiam até o momento. Como resultado, foi apresentada a distribuição da temperatura e da velocidade do ar no entorno dos passageiros sentados e de pé, e os resultados da simulação estão em concordância com os mensurados no experimento.

Outro período que obteve duas publicações foi o ano de 2010 (ASSUNCAO; JARDIM; DE MEDEIROS, 2014; ZHANG; ZHOU; ZHANG, 2014). Zhang, Zhou e Zhang (2014) desenvolveram um modelo combinado de conforto de ônibus que leva em consideração os parâmetros ambientais subjetivos e objetivos, tais como: ruído, vibração, conforto térmico, aceleração e a experiência dos passageiros. Dessa forma, eles geraram um modelo aplicável com sete parâmetros possíveis que influenciam no conforto do ônibus e, com isso, os autores estimaram que o conforto dos passageiros em ônibus pudesse melhorar em quase 20%, se fosse levado em consideração os parâmetros do modelo proposto.

Os autores Assunção, Jardim e De Medeiros inovaram ao estudar os profissionais que trabalham em ônibus, objetivando investigar a prevalência de queixas relacionadas à saúde vocal dos motoristas e cobradores de ônibus no Brasil (ASSUNCAO; JARDIM; DE MEDEIROS, 2014). A conclusão desse estudo citado demonstrou que existem fatores de risco (vibrações e desconforto térmico) associados positivamente com a função de condutor e que justificam intervenções para promover a saúde da voz desses profissionais.

O ano de 2015, juntamente com 2020, apresentou o maior número de publicações nesse domínio do conhecimento com quatro publicações cada: Pala e Oz; Pimenta e Assunção; e Ismail *et al.* duas vezes (ISMAIL *et al.*, 2015b, 2015a; PALA; OZ, 2015; PIMENTA; ASSUNÇÃO, 2015). A obra de Pala e Oz definiram um modelo de teste e cálculo para avaliação do conforto térmico de um projeto de ar condicionado de um ônibus e, posteriormente, compararam os efeitos da mudança de parâmetros no conforto térmico do passageiro (PALA; OZ, 2015). Com o apoio de um procedimento experimental, os autores citados geraram um modelo matemático que foi desenvolvido para o uso dos engenheiros de ar-condicionado automotivos e cientistas que trabalham com conforto térmico.

Pimenta e Assunção avaliaram a relação entre a percepção da temperatura no interior do ônibus e a hipertensão arterial de trabalhadores do transporte coletivo no Brasil (PIMENTA; ASSUNÇÃO, 2015). Com isso, os autores citados concluíram

que o desconforto térmico esteve associado a uma maior prevalência de hipertensão arterial em duas categorias do conforto consideradas: desconforto térmico e insuportável. Essas duas categorias foram independentemente e se mostraram relacionadas à hipertensão arterial.

A primeira obra de Ismail *et al.* investigou a correlação entre o conforto térmico e o desempenho dos motoristas de ônibus da Malásia ao longo de sua jornada (ISMAIL *et al.*, 2015b). Ao final, eles concluíram que existe correlação, e ela é positiva entre as variáveis do conforto térmico (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar) e o desempenho dos motoristas.

Na sua segunda obra, Ismail *et al.* apresentam os fatores que contribuem para o desempenho dos motoristas de ônibus (ISMAIL *et al.*, 2015a). Assim como na sua primeira publicação, os autores citados fizeram um estudo de campo e questionaram os motoristas da Malásia a respeito da interferência percebida por eles nos seguintes parâmetros: temperatura, velocidade, umidade relativa do ar e vibração. Contudo, diante das respostas dos motoristas, os autores inferiram que, a temperatura do ar frio ou uma umidade relativa mais baixa, pode levar a um melhor desempenho desses profissionais, e a velocidade do ar não afetou a percepção dos motoristas quanto ao seu desempenho.

Velt e Daanen (2017) investigaram a sensação e o conforto térmicos dos passageiros, com o intuito de prolongar a distância percorrida com a mesma carga de uma bateria dos ônibus elétricos durante um dia frio na Holanda. Contudo, a sensação térmica relacionou-se significativamente com a temperatura do ar, o isolamento das roupas e a idade. Com base nesses parâmetros, a temperatura do interior do ônibus correspondente ao conforto térmico = 0 e a sensação térmica = 0 teria sido de  $20,9 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ . Com isso, os autores concluíram que uma temperatura do interior do ônibus inferior ou igual a  $1,6^{\circ}\text{C}$  à do ambiente externo, provavelmente levaria a menos desconforto térmico e uma maior economia de energia de ônibus elétricos (VELT; DAANEN, 2017).

Unal (2017) desenvolveu um estudo experimental em um ônibus em condições particulares de verão na Turquia para examinar se um sistema de ar-condicionado atende aos requisitos de design e de sensação de conforto térmico. Para tanto, o autor mensurou três parâmetros (temperatura, velocidade e umidade relativa do ar) em vários pontos no interior do ônibus e, com isso, ele calculou a

carga de resfriamento e o ganho de calor sensível e latente para os ocupantes. Dessa forma, ele concluiu que os ônibus devem permanecer durante 30 minutos com o sistema de ar-condicionado ligado para chegar em um patamar aceitável de temperatura interna antes de seguir viagem.

Em 2018, Zhu *et al.* investigaram o conforto dos passageiros e o estado de poluição do ar de um ônibus com sistema de ar-condicionado, por meio de um estudo realizado na China, e os resultados de uma simulação indicaram que a redução ou a adição de saídas de ar encurtaria o tempo necessário para atingir condições estáveis e enfraqueceria o fluxo de ar ou diminuiria a temperatura na cabine (ZHU *et al.*, 2018a).

Makowiec-Dąbrowska *et al.*, (2019), em um estudo de campo realizado na Polônia, investigaram se os parâmetros (temperatura, pressão do ar, umidade, velocidade do vento e precipitações) estão relacionados com percepção de fadiga por parte dos motoristas de ônibus em duas situações (rota monótona e tráfego intenso). Com o resultado, os autores inferiram que a rota de tráfego intenso fadiga mais que a monótona. Além disso, correlações significativas foram encontradas entre velocidade do vento e sintomas de pálpebra pesada, esquecimento, cansaço visual, piscar frequente, e entre temperatura ambiente e sensação de sede, na rota monótona. Entretanto, para a rota de tráfego intenso, a temperatura ambiente correlacionou-se com a sensação de sede, cansaço e dificuldade em tomar decisões, e a velocidade do vento correlacionou-se com a sensação de sede.

Por fim, no ano de 2020 surgiram quatro artigos nesse tema delimitado (HOSSAM; FOUAD; ABOU-ZAID, 2020; PALA, 2020; ZHANG *et al.*, 2020; ZHU *et al.*, 2020). Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020) utilizaram o CFD e o modelo PMV-PPD de Fanger para investigar três casos particulares. No primeiro, a saída do sistema de ar-condicionado dos ônibus sofreu variação em quatro angulações (0°, 15°, 30° e 45°). No segundo, os autores escolheram o melhor ângulo de saída, e variaram em dois estágios a velocidade de saída do ar (de 1m/s a 2m/s e de 2m/s a 3 m/s). Já no terceiro, investigaram um sistema de ar-condicionado em que a saída era retangular e fixa sem possibilidade de angulação. Contudo, o ângulo de saída de 30° (PMV = +0.3 neutralidade térmica e PPD = 5% ambiente termicamente aceitável) e a velocidade de 3m/s foram considerados melhores ajustes em termos de fluxo de ar e temperatura no entorno dos passageiros.

Zhu *et al.* (2020) investigaram os efeitos da poluição do ar e a distribuição de temperatura na sensação de conforto dos passageiros em um ônibus com ar-condicionado na China. Como resultado, os autores inferiram que os passageiros estavam em um ambiente com má qualidade do ar devido ao ozônio oriundo do ar externo, e desconfortável termicamente devido à alta temperatura. Segundo os autores citados, o efeito desse desconforto térmico pode ser minimizado com uma angulação de 30° da saída de ar dos sistemas de ar-condicionado, a mesma angulação recomendada no estudo de Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020).

Zhang *et al.* (2020) executaram um estudo de campo na China para examinar os efeitos dos indicadores microambientais (ruído, qualidade do ar, temperatura, umidade relativa e carga de passageiros) dos ônibus no humor dos passageiros. O resultado desse estudo de campo indicou que os níveis ideais de exposição desses indicadores microambientais nas cabines dos passageiros são 0–65 dB para o ruído, 22–28°C da temperatura do ar, 41–50% de umidade relativa e 18–19 capacidade de passageiros.

Pala (2020) executou um experimento em uma câmara climática para avaliar o conforto térmico dos passageiros durante um processo de resfriamento de um ônibus. Além disso, os efeitos das condições transitórias rápidas do resfriamento na transferência de calor sensível ou latente do corpo, nas temperaturas do núcleo e da pele, no desconforto e na sensação térmicas, foram detalhados. Após 60min da inicialização do sistema de ar-condicionado do ônibus, a temperatura do ar caiu de 40°C para 28,8°C e a umidade relativa não alterou muito e foi de 41% a 47%. A variação do fluxo de energia entre o núcleo e a pele aumentou à medida que a temperatura caiu, pois, o corpo perde calor para o ambiente e, com isso, o corpo gera calor no núcleo e transmite à pele, para compensar a perda, e a sensação térmica medida pelo método Gagge, caiu de -0,19 (neutralidade térmica) para -4,063 (muito frio), à medida que a temperatura caiu.

Diante disso, os autores Abdullah, A.A.; Assunção, A.A.; Atikah Abdullah, S.N.; Deros, B.N.; Ismail, A.R.; Khamis, M.; Lei, L.; Pala, U.; Saqr, K.M.; Shek, K.W.; Wang, X.; e Zhu, X. com duas obras cada, foram os que apresentaram o maior número de artigos de pesquisas publicados em revistas. No entanto, como autor principal dos artigos tem-se: Ismail, A.R.; Khamis, M.; Pala, U.; e Zhu, X. com dois artigos cada, e Assunção, A.A. e Shek, K.M. com um artigo como autores principais.

e um outro como coautores. Os demais autores listados são coautores com duas participações em publicações. Além disso, vale destacar que as obras de Zhu, Demokritou e Spengler (ZHU; DEMOKRITOU; SPENGLER, 2010); Shek e Chan (SHEK; CHAN, 2008) e Lin *et al.* (LIN *et al.*, 2006) com 56, 50 e 47 citações respectivamente, foram consideradas as três mais citadas dentre as 22 incluídas nessa pesquisa (ver Quadro 3) de acordo com o Google Scholar.

As 10 palavras-chave com maior frequência de aparecimento nos artigos de conforto térmico em ônibus estão expostas no Quadro 4.

**Quadro 4 – Palavras-chave mais relevantes do conforto térmico em ônibus**

Palavra-chave	Ocorrência
<i>thermal comfort</i>	11
<i>bus</i>	4
<i>numerical simulation</i>	3
<i>thermal sensation</i>	2
<i>air velocity</i>	2
<i>bus air conditioning</i>	2
<i>costing</i>	2
<i>relative humidity</i>	2

**Fonte: A autoria própria (2020)**

Observando o Quadro 4, nota-se que dos 22 artigos incluídos nessa pesquisa, 11 utilizam o termo *thermal comfort*. Além disso, é óbvio que os dois primeiros termos com maior ocorrência da tabela estão relacionados com a delimitação do tema dessa pesquisa que centrou no conforto térmico de ônibus, e as demais palavras-chave obtiveram uma única ocorrência e, dessa forma, não estão expostas no quadro citado.

Em seguida, no Quadro 5, são apresentadas as revistas com maior quantidade de artigos publicados.

**Quadro 5 – Os periódicos mais relevantes do conforto térmico em ônibus**

Periódicos	Artigos publicados
Applied Ergonomics	3
Environmental Monitoring and Assessment	2
International Journal of Biometeorology	2
Science of The Total Environment	2

**Fonte: A autoria própria (2020)**

De acordo com o Quadro 5, a revista com maior ocorrência de publicação nessa área de conhecimento é a Applied Ergonomics, com 3 artigos. As outras



fontes, que não estão presentes no quadro citado, apresentaram um artigo e podem ser visualizadas no Quadro 3.

### 2.1.2 Conforto térmico e suas abordagens em ônibus

Essa subseção está centrada na busca da resposta da PQ<sub>1</sub>, da seção 2.1, por meio da leitura na íntegra dos artigos incluídos nessa pesquisa, usando o método adotado.

O Quadro 6 apresenta o resultado das abordagens identificadas nos estudos incluídos nessa pesquisa.

**Quadro 6 – Abordagens dos estudos de conforto térmico em ônibus**

<b>Abordagens</b>	<b>Referências</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Sensação térmica	Assuncao, Jardim, De Medeiros (2014); Conceição, Silva e Viegas (1997); Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020); Lin <i>et al.</i> (2010); Makowiec-Dąbrowska <i>et al.</i> (2019); Mui e Shek (2005); Pala (2020); Pala e Oz (2015); Pimenta e Assunção (2015); Unal (2017); Vollaro (2013); Zhang, Zhou e Zhang (2014); Zhang <i>et al.</i> (2020); Zhu, Demokritou e Spengler (2010); Zhu <i>et al.</i> (2018a); Zhu <i>et al.</i> (2020)	16	73
Produtividade	Ismail <i>et al.</i> (2015b, 2015a)	2	9
Economia de combustível/energia	Mansour <i>et al.</i> (2007, 2008); Shek e Chan (2008); Velt e Daanen (2017)	4	18

**Fonte: Autoria própria (2020)**

No Quadro 6, o maior percentual está vinculado a sensação térmica dos ocupantes das cabines de ônibus. Ao investigar a sensação térmica indagada por esses dezesseis artigos, notou-se uma concentração maior voltada à analisar unicamente o ambiente das cabines dos passageiros com doze estudos (CONCEIÇÃO; SILVA; VIEGAS, 1997; HOSSAM; FOUAD; ABOU-ZAID, 2020; LIN *et al.*, 2010; MUI; SHEK, 2005; PALA, 2020; PALA; OZ, 2015; VOLLARO, 2013; ZHANG; ZHOU; ZHANG, 2014; ZHANG *et al.*, 2020; ZHU; DEMOKRITOU; SPENGLER, 2010; ZHU *et al.* 2018<sup>a</sup>; ZHU *et al.*, 2020).

Dos quatros estudos restantes para completar os dezesseis classificados na abordagem da sensação térmica, um deles se deteve em explorar unicamente o ambiente das cabines dos motoristas (MAKOWIEC-DĄBROWSKA *et al.*, 2019), outro focou no ônibus completo, abrangendo as cabines dos passageiros e motoristas (UNAL, 2017) e os dois últimos artigos tiveram como amostra os

motoristas e cobradores (ASSUNCAO; JARDIM; DE MEDEIROS, 2014; PIMENTA; ASSUNÇÃO, 2015).

Os dois artigos que abordaram o aspecto de produtividade estão alinhados com os motoristas que foram questionados quanto a interferência do conforto térmico no desempenho da atividade de dirigir (ISMAIL *et al.*, 2015b, 2015a). Foram dois estudos de campo que buscaram correlacionar, de forma subjetiva, os seis parâmetros utilizados nos modelos de conforto térmico, com o desempenho desses profissionais por meio de cinco questões para cada parâmetro. No entanto, não foi possível encontrar evidências de que houve uma mensuração objetiva dos parâmetros e nem de equipamentos de medição térmica. Portanto, ainda existem lacunas a serem preenchidas, por meio de estudos de campo com protocolos de coletas de dados bem definidos e embasados nas normas internacionais.

Com relação ao aspecto de conservação de energia ou combustível, Velt e Daanen (2017) em seu estudo de campo realizado na Holanda objetivou economizar energia dos ônibus elétricos sem prejudicar a sensação de bem-estar dos passageiros. Já Mansour *et al.* (MANSOUR *et al.*, 2007, 2008) realizaram um experimento e desenvolveram uma estratégia de controle para um sistema de ar condicionado, visando a economia de combustível dos ônibus na China, sem afetar o conforto térmico dos passageiros.

Por último, e ainda nesse aspecto de economia de combustível/energia, Shek e Chan (SHEK; CHAN, 2008), por meio de um estudo de campo na China, desenvolveram modelos que combinaram conforto térmico e qualidade do ar, elementos que podem ser capazes de otimizar o controle do ar condicionado, mantendo um equilíbrio ótimo da conservação de energia e a satisfação do passageiros. No geral, a abordagem de economia de combustível/energia vem sempre acompanhada da abordagem da sensação térmica, pois não adianta economizar combustível e não proporcionar um nível de conforto adequado aos ocupantes de ônibus.

Durante a elaboração desse estado da arte, foi possível evidenciar que as obras incluídas e citadas carecem de um estudo de campo que abordasse todos os seis parâmetros considerados importantes para modelagem exaustiva do conforto térmico em cabines de ônibus. Diante dessa evidência, a seção 2.1.3 se dedica a apresentar os seis parâmetros passíveis de análise em estudo de conforto térmico.

### 2.1.3 Parâmetros do conforto térmico

Na literatura, pode-se encontrar diversos sinônimos para expressar os parâmetros que são importantes para conforto térmico dos ocupantes, assim como as formas de sua classificação. Os autores Rupp, Vásquez e Lamberts (2015) e Yao, Li e Liu (2009) só as chamaram de variáveis e não as classificaram, já os autores Danca, Vartires e Dogeanu, (2016) classificaram em grandezas físicas e variáveis pessoais. Para Simion, Socaciu e Unguresan (2016), os parâmetros foram nomeados de fatores, e classificados em dois grupos (mensuráveis e pessoais) e esse mesmo nome foi dado pelos autores Croitoru *et al.* (2015). No entanto, esses últimos autores dividiram em três grupos de fatores (organismo humano, vestimenta e ambiental).

Essa investigação utilizou a classificação exposta no levantamento feito pelos autores Frontczak e Wargocki (2011), em que eles dividiram os parâmetros em dois grupos: ambiental e pessoal. De acordo com os autores citados, o grupo ambiental é composto por quatro parâmetros (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar) relacionados ao ambiente a ser analisado, e o grupo pessoal envolve dois parâmetros (taxa metabólica e isolamento térmico da vestimenta) que depende do(s) ocupante(s) do recinto a ser investigado.

A seguir, serão descritos todos os seis parâmetros dos dois grupos considerados relevantes em um estudo de conforto térmico que almeja analisar um determinado ambiente.

#### 2.1.3.1 Temperatura do ar ( $t_a$ ):

Independente do ambiente a ser analisado, a temperatura do ar ( $t_a$ ) é considerada uma das principais variáveis relacionadas ao desempenho humano (CUI *et al.*, 2013). De acordo com Simion, Socaciu e Unguresan (2016), essa variável ambiental dentro dos veículos, depende da época da estação do ano e a posição do veículo.

Para a Tabela 1 da ISO 7726, a temperatura do ar sempre deve ser levada em consideração quando se está analisando as trocas de calor por convecção ao redor do indivíduo (ISO 7726, 1998).

### 2.1.3.2 Temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ):

Diferentemente dos ocupantes do interior de um imóvel, os ocupantes do interior de um veículo estão em constante contato com a radiação solar durante o dia, sofrendo, inclusive, problema de assimetria térmica, e dessa forma, a temperatura radiante média merece uma atenção maior para esse ambiente. Como agravante, tem-se a radiação refletida pelas peças do veículo e pelos componentes do motor do mesmo (SIMION; SOCACIU; UNGURESAN, 2016).

Essa temperatura pode ser obtida por duas formas distintas: pelo cálculo da radiação recebida pelo corpo humano de diferentes direções (THORSSON *et al.*, 2007) e pela determinação via lei de Stefan–Boltzmann (ISO 7726, 1998). É comumente encontrada nas pesquisas a determinação da  $t_{rm}$  pela lei de Stefan e, de acordo com a ISO 7726 (1998), a determinação via essa lei vai depender se a convecção for natural (Equação 1) ou forçada (Equação 2).

Para a convecção natural:

$$t_{rm} = \left[ (t_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 \times |t_g - t_a|^{1/4} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (1)$$

Para a convecção forçada:

$$t_{rm} = \left[ (t_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times v_a^{0.6} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (2)$$

onde,

$V_a$  = velocidade do ar ao nível do globo (m/s);

$t_a$  = temperatura do ar (°C);

$t_g$  = temperatura de globo (°C).

Verificando as equações das trocas de calor propostas por Fanger e a Tabela 1 da norma ISO 7726 (1998), verifica-se que a  $t_{rm}$  é fundamental nos cálculos das trocas de calor sensível por convecção da pele, sensível por radiação da pele e pela troca por condução da superfície da pele para a superfície externa da vestimenta. Para o levantamento da variável  $t_g$ , o instrumento de medição mais utilizado é o termômetro de globo negro que, segundo a ISO 7726 (1998), as

especificações do globo deve ser de 0,15m de diâmetro e uma emissividade de 0,95.

### 2.1.3.3 Velocidade do ar ( $v_a$ ):

O controle da velocidade do ar ( $V_a$ ) é importante para o conforto térmico dos ocupantes, pois o fluxo de ar é considerado uma das formas com que uma pessoa possa estar em desconforto localizado (CÂNDIDO *et al.*, 2010; ISO 7730, 2005).

Para o ambiente do interior dos ônibus, esse parâmetro pode exercer uma grande influência na percepção da sensação térmica dos ocupantes, pois dependendo da condição do ônibus (com ou sem ar-condicionado, ou se as janelas estão abertas ou não), ele pode ser controlado ou não pelos indivíduos (SIMION; SOCACIU; UNGURESAN, 2016).

De acordo com as equações de troca de calor de Fanger e a Tabela 1 da ISO 7726 (1998), esse parâmetro afeta as perdas de calor por meio da convecção da pele e a troca por evaporação da pele.

Para Malchaire (2004), a medição desse parâmetro deve ser omnidirecional, ou seja, independente da direção da corrente de ar, e é calculada segundo a Equação 3.

$$V_a = v + 0,0052 \times (M - 58) \quad (3)$$

onde,

$v$  = velocidade absoluta do ar em relação à uma pessoa estática (m/s);

$M$  = taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>).

### 2.1.3.4 Umidade relativa do ar ( $ur$ ):

Na ASHRAE 55, a umidade relativa (UR) foi definida como a razão entre a quantidade de vapor de água no ar e a quantidade de vapor de água que o ar poderia suportar na temperatura e pressão específicas (ASHRAE - 55, 2017).

De acordo com a Equação 4 definida pela norma ISO 7726 (1998), a umidade relativa pode ser expressa em percentagem.

$$UR = 100 \times \left( \frac{P_a}{P_{as}} \right) \quad (4)$$

onde,

$p_a$  = pressão parcial de vapor d'água no ar úmido (kPa);

$p_{as}$  = pressão de saturação do vapor d'água (kPa).

O efeito da umidade em cabines no conforto e sensação térmica de passageiros foi estudado por Alahmer *et al.* (2012), por meio da simulação do modelo de Berkeley e Fanger. Além disso, de acordo com a Tabela 1 da ISO 7726 (1998), esse parâmetro exerce influência nas trocas de calor latente por evaporação da pele e pela respiração.

#### 2.1.3.5 Taxa metabólica (M):

O metabolismo ou taxa metabólica (M) é considerado um parâmetro pessoal e ele é, naturalmente, o único responsável por gerar calor, enquanto os demais parâmetros são considerados perdas de calor (FANGER, 1970).

De acordo com Havenith, Holmér e Parsons (2002), a taxa com a qual o corpo utiliza a comida e o oxigênio para produzir energia é denominada taxa metabólica. Para Simion, Socaciu e Unguresan (2016), as pessoas necessitam dessa energia para realizar o trabalho e produzir calor para conservar a temperatura interna do corpo próximo de 36,5°C.

Pode-se encontrar métodos para mensurar M, por exemplo, a ISO 8996 (2004) destaca a determinação do metabolismo medindo-se o consumo de oxigênio (calorimetria indireta). Porém, uma forma validada para se chegar a um valor da taxa é estimada por meio das tabelas da ISO 8996 (2004).

#### 2.1.3.6 Isolamento térmico da vestimenta ( $I_{cl}$ ):

Outro parâmetro do grupo pessoal é isolamento térmico da vestimenta ( $I_{cl}$ ). Esse parâmetro, segundo a Tabela 1 da ISO 7726 (1998), influencia nas trocas de calor sensível por radiação da pele, na troca de calor sensível por convecção da pele e na troca de calor latente por evaporação da pele.

De acordo com a ISO 9920 (2007), a unidade de medida do  $I_{cl}$  da vestimenta é expressa por "clo" (1 clo = 0,155 m<sup>2</sup>K/W) e, noo Anexo C, traz valores estimados das vestimentas que são usados em pesquisas.

Diante da apresentação dos parâmetros considerados importantes para os cálculos do conforto térmico, o Quadro 7 expõe os que já foram utilizados pelos estudos levantados na revisão sistemática da literatura para expressar o conforto térmico das cabines de ônibus, seja de passageiros ou motoristas.

**Quadro 7 – Parâmetros do conforto térmico considerados nos ônibus**

Referências	Parâmetros do conforto térmico					
	$t_a$	$V_a$	$t_{rm}$	UR	M	Iclo
Zhu <i>et al.</i> (2020)	x	x				
Pala (2020)	x	x	x	x	x	x
Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020)	x	x	x	x	x	x
Zhang <i>et al.</i> (2020)	x	x				
Makowiec-Dąbrowska <i>et al.</i> (2019)	x	x				
Zhu <i>et al.</i> (2018a)	x	x	x			
Velt e Daanen (2017)	x	x	x	x	x	x
Unal (2017)	x	x		x		
Pala e Oz (2015)	x	x	x	x	x	x
Pimenta e Assunção (2015)	x					
Ismail <i>et al.</i> (2015b)	x	x	x	x		x
Ismail <i>et al.</i> (2015a)	x	x	x	x		x
Assuncao, Jardim e De Medeiros (2014)	x					
Zhang, Zhou e Zhang (2014)	x	x	x	x	x	x
Vollaro (2013)	x	x				
Lin <i>et al.</i> (2010)	x	x	x	x	x	x
Zhu, Demokritou e Spengler (2010)	x	x		x		
Mansour <i>et al.</i> (2008)	x	x	x	x	x	x
Shek e Chan (2008)	x	x				
Mansour <i>et al.</i> (2007)	x	x	x	x	x	x
Mui e Shek (2005)	x			x		
Conceição, Silva e Viegas (1997)	x	x				

**Fonte: Autoria própria (2020)**

Verificando o Quadro 7, nota-se que os parâmetros temperatura e velocidade do ar, foram os mais utilizados nas análises do conforto em ambiente das cabines de ônibus. Esta ocorrência deve ser, em parte, devido ao controle dos sistemas de ar-condicionado que, no geral, é feito pelo controle da temperatura e da velocidade de saída do ar para resfriar ou aquecer o ambiente.

Além disso, dos artigos incluídos nessa revisão, oito deles (HOSSAM; FOUAD; ABOU-ZAID, 2020; MANSOUR *et al.*, 2007, 2008; LIN *et al.*, 2010; PALA, 2020; PALA; OZ, 2015; VELT; DAANEN, 2017; ZHANG; ZHOU; ZHANG, 2014) analisaram os seis parâmetros que são amplamente empregados nos modelos de conforto térmico normalizados pela ISO ou ASHRAE (ASHRAE - 55, 2017; ISO

7730, 2005). Vale destacar que na tabela citada, só consta os parâmetros dessa área de conhecimento, mas, nesses estudos existem outras variáveis inerentes aos outros tipos de conforto e as características sociodemográficas das amostras extraídas.

Nos estudos de Ismail *et al.* (ISMAIL *et al.*, 2015a, 2015b), os parâmetros ambientais e pessoais não foram mensurados fisicamente, e sim, interrogados aos motoristas se, na percepção deles, esses parâmetros influenciam no desempenho da atividade de dirigir, por meio de questionários aplicados.

Em outros estudos, além desses parâmetros mensuráveis destacados no Quadro 7, os ocupantes foram questionados a respeito dos votos subjetivos do conforto térmico presentes na ISO 10551 (2019), tais como: o voto de sensação térmica, o de preferência térmica e o de aceitabilidade térmica, por meio de questionários (LIN *et al.*, 2010; VELT; DAANEN, 2017; ZHU *et al.*, 2018a).

No geral, o conhecimento desses votos em estudos de conforto térmico é interessante devido a dois motivos: primeiro para conhecer os modos adaptativos operantes dos usuários em se adaptar às situações de desconforto; e em segundo, para avaliar os modelos preditivos, por meio das discrepâncias dos valores analíticos para os reais subjetivos. No ambiente das cabines de ônibus, esses votos serviram para o conhecimento do comportamento adaptativo operantes dos ocupantes, na escolha da preferência dos assentos, ângulo de abertura e inclinação das saídas de ar dos sistemas de ventilação e ar-condicionado, abertura ou fechamento das cortinas das janelas devido à radiação solar, e a preferência dos assentos das poltronas e das vestimentas utilizadas (LIN *et al.*, 2010; VELT; DAANEN, 2017; ZHU *et al.*, 2018a).

Após a ciência dos seis parâmetros necessários para compor um estudo abrangente de conforto térmico, a seção 2.1.4 expõe os modelos e índices que são normalizados pela ISO e ASHRAE (ASHRAE - 55, 2017; ISO 7243, 2017; ISO 7730, 2005) e amplamente utilizados pelo mundo acadêmico, quando se almeja avaliar o conforto térmico em ambiente veicular.

#### 2.1.4 Modelos e índices do conforto térmico e estresse térmico

Em se tratando de ônibus como ambiente térmico a ser investigado, esse manuscrito buscou abordar unicamente os dois modelos normalizados e dois índices



que são amplamente utilizados para prever a sensação térmica dos ocupantes e o estresse térmico de cabines veicular. Trata-se dos modelos PMV – PPD de Fanger e o adaptativo e os índices IBUTG e temperatura equivalente.

#### 2.1.4.1 Índice PMV – PPD de Fanger

O clássico modelo PMV – PPD foi desenvolvido por Fanger em 1970 via experimentos laboratoriais (YAO; LI; LIU, 2009). Com esse modelo é possível prever a resposta média do voto de sensação térmica de um grande grupo de pessoas expostas ao mesmo ambiente (ALAHMER *et al.*, 2011; PEETERS *et al.*, 2009; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015), assim como o percentual de pessoas insatisfeitas com esse ambiente (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010). Segundo Yao, Li e Liu (2009). O modelo de Fanger foi incorporado aos padrões ISO nos anos 80, e ele ainda é a base dos padrões ISO 7730 e ASHRAE 55 (RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015).

Segundo Croitoru *et al.* (2015), esse modelo partiu da hipótese de que os ocupantes estão no estado de conforto térmico quando os corpos deles equilibram o calor produzido, consumido e transferido para o meio ambiente. Essa hipótese é considerada por muitos autores como um modelo estacionário ou estável (ALAHMER *et al.*, 2011; CROITORU *et al.*, 2015; DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015; YAO; LI; LIU, 2009).

Esse modelo tem por base a determinação de dois índices importantes na avaliação de conformidade térmica de um determinado ambiente. O primeiro índice trata do Voto Médio Predito (PMV – *Predicted Mean Vote*) que, combinam os seis parâmetros presentes na seção 2.1.3, e resulta em valores objetivos, que podem ser relacionados com a escala subjetiva de sete pontos da sensação térmica da ASHRAE (ASHRAE - 55, 2017), por meio da Equação 5.

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0,303 \times e^{0,303} + 0,028) \times \{(M - W) - 3,05 \times [5,73 - 0,007 \times (M - W) - P_a] \\
 & - 0,42[(M - W) - 58,15] - 0,0173 \times M \times (5,87 - P_a) \\
 & - 0,0014 \times M \times (34 - t_a) - 3,96 \times 10^8 \times f_{cl} \times [(t_{cl} - 273)^4 \\
 & - (t_{rm} - 273)^4 - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)]
 \end{aligned}$$

(5)

Os valores do índice PMV da Equação 5 podem oscilar dentro da escala da ASHRAE 55, desde muito frio (-3), a muito quente (+3), e contendo no centro a sensação neutra (0). Ademais, podem assumir valores de  $\pm 1$ , que representam a sensação de levemente quente (+1), e levemente frio (-1); ou  $\pm 2$ , que indicam a sensação de quente (+2), ou frio (-2) (ASHRAE - 55, 2017).

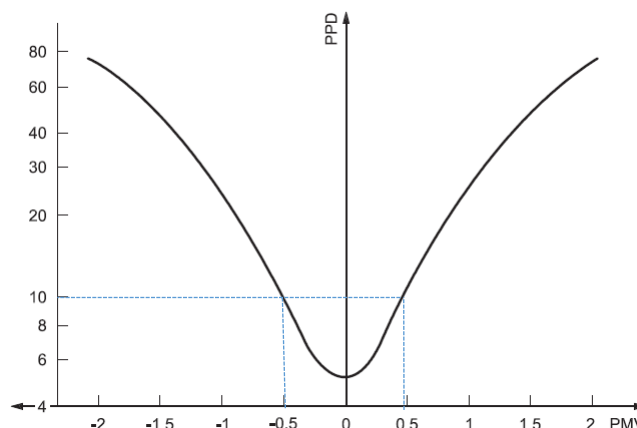
O segundo índice do modelo de Fanger, trata-se do Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage Dissatisfied*) que segundo Alahmer *et al.* (2011), calcula uma previsão do número de pessoas termicamente insatisfeitas com o ambiente em análise. Esta previsão é definida tendo por base o grupo de pessoas expostas ao mesmo ambiente que se estimou a sensação térmica (PMV), e é devido a essa relação que os autores Croitoru *et al.* (2015) indicam associação do índice PMV ao PPD em sua obra.

De fato, ao observar a equação do PPD, nota-se que Fanger relacionou o PPD com o PMV, e segundo a ISO 7730 (ISO 7730, 2005), a equação que determina o percentual de pessoas insatisfeitas termicamente no ambiente é dada pela Equação 6.

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2) \quad (6)$$

São considerados insatisfeitos com o ambiente as pessoas que votam fora do intervalo de  $\pm 1$  na escala de sensação térmica, ou seja, as pessoas que votarem  $\pm 2$  e/ou  $\pm 3$  são considerados insatisfeitos com o ambiente (ISO 7730, 2005). No entanto, para a ASHRAE (ASHRAE - 55, 2017), a faixa aceitável recomendada para o conforto térmico é de  $-0,5 < PMV < +0,5$ , correspondendo a PPD <10% para um espaço interno. Graficamente, essa relação pode ser observada pelo Gráfico 2, assim como a zona de insatisfeitos permissível pela ISO 7730 (2005).

Gráfico 2 – Relação do PMV – PPD



Fonte: Adaptado da ISO 7730 (2005).

Para os autores Djongyang, Tchinda e Njomo (2010), o mérito dessa relação, esboçada no gráfico do Gráfico 2, é que ela revela uma simetria perfeita em relação à neutralidade térmica ( $PMV = 0$ ), e segundo Hwang *et al.* (2009), para o  $PMV = 0$ , é gerado uma taxa mínima de insatisfeitos ( $PPD = 5\%$ ). Ademais, nota-se no gráfico citado, a zona de conforto considerada pela ISO 7730, que gera 10% de insatisfeitos.

Como mencionado anteriormente, o modelo  $PMV - PPD$  proposto por Fanger é indicado para prever a sensação térmica dos ocupantes e o percentual de insatisfeitos para ambientes estacionários, ao passo que, quando se trata de um ambiente transitório e que os ocupantes serão expostos por um período curto a esse ambiente, essa previsão não é tão significativa. Esses dois fatores, transitoriedade térmica e tempo de exposição, são relatados por Alahmer *et al.* (2011), onde os autores inferem que a cabine veicular pode ser considerada um ambiente transitório em que os passageiros ficam expostos entre 15 a 30 min.

Essas considerações foram feitas a respeito das cabines de passageiros, o que pode ser diferente para os motoristas devido ao aspecto de permanência mais prolongada a esse tipo de ambiente, mas mesmo assim, esses profissionais não evitam o ambiente transitório, o que pode dificultar a previsão. Além disso, os motoristas podem estar sujeitos ao desconforto térmico localizado, devido à corrente de ar, à assimetria de radiação térmica, à diferença de temperatura do ar (sentido vertical) e aos pisos aquecidos ou resfriados (ALAHMER *et al.*, 2011, 2012).

Para contornar situações semelhantes às relatadas, considerando que, foram aplicados ambientes construídos (imóveis), surgiu o modelo adaptativo, que

leva em consideração esses fatores, além das diferenças psicológicas e fisiológicas dos indivíduos, para se adequar a esse tipo de ambiente instável.

#### 2.1.4.2 Modelo adaptativo

O modelo adaptativo vem ganhando mais atenção e replicabilidade nas pesquisas, principalmente em estudos de campo. Isso deve-se ao fato de que o modelo foi concebido, tendo por base estudos dessa natureza, (CROITORU *et al.*, 2015; DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010; NICOL; HUMPHREYS, 2002; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015; YAO; LI; LIU, 2009) em que os ocupantes podem reagir às mudanças do ambiente térmico para manter seu conforto térmico, ou seja, diferentemente do modelo de Fanger, em que os ocupantes eram considerados passivos ao ambiente, este considera os ocupantes ativos, capazes de se adequar ao ambiente por meio de três categorias: adaptação do comportamento, adaptação fisiológica e adaptação psicológica (RJD; BRAGER, 1998).

De acordo com os autores Croitoru *et al.* (2015); Djongyang, Tchinda e Njomo (2010); Rupp, Vásquez e Lamberts (2015); e Yao, Li e Liu (2009), o algoritmo adaptativo foi desenvolvido a partir dos dados de estudos em edifícios naturalmente ventilados executados por Nicol, Humphreys e Roaf (NICOL; ROAF, 1996; NICOL, 1995; NICOL *et al.*, 1999; NICOL; HUMPHREYS, 1973, 2002), Auliciems (AULICIEMS, 1981), Auliciems e De Dear (AULICIEMS; DE DEAR, 1986), De Dear, Brager and Cooper (DE DEAR; BRAGER, 1998) utilizando estatística de regressão linear, relacionando às temperaturas internas e externas, construiu-se o modelo adaptativo (RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015).

O modelo Adaptativo do Voto Médio Predito (aPMV) objetiva reduzir a discrepância entre a sensação térmica real questionada aos ocupantes e a prevista pelo modelo de Fanger em estudos de campo, além de ser mais previsível que o PMV em condições quentes e frias (YAO; LI; LIU, 2009).

A aceitabilidade desse modelo pela comunidade acadêmica refletiu na inclusão dele nas principais normas internacionais relativas ao conforto térmico. Segundo Rupp, Vásquez e Lamberts (2015), a ASHRAE 55 incluiu o modelo adaptativo em 2004 como alternativa de avaliação de edifícios naturalmente ventilados. Além da normativa 55 da ASHRAE, as diretrizes holandesas já são adeptas ao modelo adaptativo (VAN DER LINDEN *et al.*, 2006) e também já foi

proposto nos padrões chineses (LI *et al.*, 2014). Além disso, a usabilidade desse modelo vem ganhando espaço nos mais diferentes ambientes e contextos das pesquisas (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010), mas até 2015, os autores Croitoru *et al.* (2015) não encontraram relatos de aplicação das técnicas adaptativas em veículos.

#### 2.1.4.3 Temperatura equivalente

A temperatura equivalente ( $t_{eq}$ ) é um índice do conforto térmico descrito pela Norma Europeia EN ISO 14505-2, que fornece diretrizes para a avaliação das condições térmicas dos veículos (GIACONIA; ORIOLI; DI GANGI, 2015). No entanto, Croitoru *et al.* (2015) afirmam que, além da ISO 14505-2, o padrão internacional ASHRAE 55 descreve esse índice.

Dessa forma, a ISO 14505-2 (2006) define esse índice como sendo “*uma quantidade física pura e representa a temperatura uniforme de um invólucro preto imaginário no qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação mais convecção como no ambiente não uniforme real*”. Ademais, ele integra os efeitos independentes das trocas térmicas por convecção e radiação do corpo humano e é um valor objetivo que desconsidera a sensação e percepção humana (GIACONIA; ORIOLI; DI GANGI, 2015).

Segundo Fojtlín *et al.* (2017), não existe um método para medir o  $t_{eq}$  diretamente e, dessa forma, ele pode ser calculado para: (a) corpo inteiro; (b) segmentar; (c) direcional; (d) omnidirecional. Ainda de acordo com os autores citados, esse índice pode ser calculado pela Equação 7.

$$t_{eq} = t_{sk} - \frac{Q}{h_{cal}} \quad (7)$$

onde,

$t_{sk}$  = temperatura da superfície (°C)

$h_{cal}$  = coeficiente de transferência de calor ( $Wm^{-2}C^{-1}$ )

$Q$  = densidade de fluxo de calor seco total ( $Wm^{-2}$ )

A densidade de fluxo de calor seco total é calculada pela soma das trocas de calor por convecção e radiação (FOJTLÍN *et al.*, 2017) e pode ser expresso pela Equação 8 (ISO 14505-2, 2006).

$$Q = C + R \quad (8)$$

onde,

C = transferência de calor por convecção (Wm<sup>-2</sup>)

R = transferência de calor por radiação (Wm<sup>-2</sup>)

Segundo Croitoru *et al.* (2015), essa condição de velocidade do ar próxima de zero, implica que, esse índice seja calculado pelo mesmo método que a temperatura operativa. Para valores maiores que 0,1ms<sup>-1</sup> da velocidade do ar é recomendado que se utilize a Equação 9 (BRUSEY *et al.*, 2018).

$$t_{eq} = 0,55 \times t_a + 0,45 \times t_{rm} + \frac{0,24 - 0,75 \times \sqrt{v_a}}{1 + I_{cl}} (36,5 - t_a) \quad (9)$$

A Equação 9 foi proposta por Madsen, Olesen e Kristensen (1984) para velocidade do ar acima de 0,1ms<sup>-1</sup>. Dessa forma, a temperatura equivalente pode ser considerada uma quantidade física pura e que pode representar uma temperatura uniforme de um invólucro preto imaginário, no qual um ocupante trocava a mesma quantidade de calor por radiação mais convecção, como no ambiente não uniforme real (CROITORU *et al.*, 2015).

#### 2.1.4.4 Índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG)

Quando a condição termo ambiental de um ambiente ultrapassa a condição de conforto térmico definida pela (ISO 7730, 2005), utiliza-se o IBUTG ou *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) para avaliar essa condição térmica desse ambiente. Essa condição, segundo a (ISO 7243, 2017), é definida como estresse térmico por calor e o método IBUTG.

De acordo com Eescu (2017), o IBUTG é uma temperatura aparente que representa o efeito da temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e a radiação solar, sobre os humanos. Essa temperatura aparente é um dos índices de estresse por calor mais frequentemente usado e tem servido como um modelo para outros indicadores relacionados ao desconforto térmico por calor (SCHMINDER; GÅRDHAGEN, 2018).

Segundo Epstein e Moran (2006) e Tanaka (2007), existem duas abordagens para se calcular o IBUTG, que dependem da condição do ambiente em

relação ao ser interno (sem carga solar) ou externo (com carga solar). As Equações 10 e 11 expressam os cálculos desse índice, para os ambientes internos e externos respectivamente (ISO 7243, 2017)

$$IBUTG = 0,7 \times t_{bu} + 0,3 \times t_g \quad (10)$$

$$IBUTG = 0,7 \times t_{bu} + 0,2 \times t_g + 0,1 \times t_a \quad (11)$$

onde,

$t_{bu}$  = temperatura de bulbo úmido (°C)

$t_a$  = temperatura do ar (°C)

$t_g$  = temperatura de globo (°C)

Diante dos modelos e dos índices normalizados descritos nessa seção, e dos artigos incluídos na revisão sistemática, o Quadro 8 resume os modelos que já foram utilizados em ambiente de cabines de ônibus.

**Quadro 8 – Modelos de conforto térmico utilizados nos estudos de ônibus**

Referências	Modelos
Zhu <i>et al.</i> (2020)	Não informado
Pala (2020)	Gagge
Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020)	PMV - PPD
Zhang <i>et al.</i> (2020)	Não informado
Makowiec-Dąbrowska <i>et al.</i> (2019)	Não informado
Zhu <i>et al.</i> (2018a)	Não informado
Velt e Daanen (2017)	PMV - PPD
Unal (2017)	Adaptativo
Pala e Oz (2015)	Gagge Model
Pimenta e Assunção (2015)	Não informado
Ismail <i>et al.</i> (2015b)	Não informado
Ismail <i>et al.</i> (2015a)	Não informado
Assuncao, Jardim e De Medeiros (2014)	Não informado
Zhang, Zhou e Zhang (2014)	PMV - PPD
Vollaro (2013)	Não informado
Lin <i>et al.</i> (2010)	PMV - PPD
Zhu, Demokritou e Spengler (2010)	Não informado
Mansour <i>et al.</i> (2008)	PMV - PPD
Shek e Chan (2008)	Não informado
Mansour <i>et al.</i> (2007)	PMV - PPD
Mui e Shek (2005)	PMV - PPD
Conceição, Silva e Viegas (1997)	Não informado

Fonte: Autoria própria (2020)

Observando o Quadro 8, nota-se que o modelo PMV – PPD de Fanger foi o mais empregado. Além disso, o modelo de Gagge foi utilizado em dois estudos (PALA, 2020; PALA; OZ, 2015), e o adaptativo em apenas um (UNAL, 2017).

Dos estudos que objetivaram avaliar unicamente o conforto térmico das cabines de ônibus, apenas quatro deles (CONCEIÇÃO; SILVA; VIEGAS, 1997; ISMAIL *et al.*, 2015b, 2015a; MAKOWIEC-DĄBROWSKA *et al.*, 2019; VOLLARO, 2013) não especificaram ou não trabalharam com modelos normalizados. No entanto, não deixam de ser relevantes, porque um artigo, geralmente, é um resumo de uma pesquisa maior e muitas coisas deixam de ser mencionadas nesse resumo. Além disso, os estudos que analisaram o conforto dos condutores (ASSUNCAO; JARDIM; DE MEDEIROS, 2014; ISMAIL *et al.*, 2015b, 2015a; MAKOWIEC-DĄBROWSKA *et al.*, 2019; PIMENTA; ASSUNÇÃO, 2015; UNAL, 2017), apenas Unal (2017) utilizou o modelo normalizado (adaptativo) para avaliar a cabines desses profissionais.

Dentre os artigos, incluídos nesta revisão, que investigaram todas os seis parâmetros (ver Quadro 4) e trabalharam com algum modelo normalizado (ver Quadro 5) do conforto térmico, os únicos que determinaram quais valores da faixa de temperatura para a situação de conforto e de neutralidade térmica das cabines foram Lin *et al.* (2010), Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020), Velt e Daanen (2017) e Mansour *et al.* (2007, 2008). Diante disso, Lin *et al.* (2010) concluíram que, para os ônibus e trens com ar-condicionado de curto e longo percurso, as temperaturas do ar interno para a sensação de neutralidade térmica ficaram em 26,2°C e 27,4 °C, e as zonas de desconforto térmico por frio e calor foram de 22,4°C a 28,9°C e 22,4°C e 30,1 °C, respectivamente.

Para Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020), dentre os cenários desenhados das angulações das saídas de ar do sistema de ar-condicionado em seus estudos experimental, a temperatura do ar de 23°C e uma velocidade do ar de 0,3 m/s, forneceu o melhor desempenho com um PMV = +0,2 (neutro) e um PPD igual a 5% de insatisfeito. Já Velt e Daanen (2017) descobriram que a faixa de temperatura do ar interno de  $20,9 \pm 0,6$  °C correspondia a uma zona de conforto para os ônibus elétricos em climas frios.

Mansour *et al.* (2007, 2008) desenvolveram um sistema de controle do ar-condicionado, capaz de reduzir o consumo de combustível e que chegaria a uma temperatura interna de 25 °C, cujo PMV seria de -0,25 (neutro) e um PPD de 8% de insatisfeito.



No geral, não foram encontrados relatos nos estudos incluídos nessa revisão, que avaliassem a assertividade dos modelos, e os estudos voltados para as cabines dos passageiros foram mais embasados em termos de modelos normalizados, do que os voltados para as cabines dos motoristas de ônibus.

#### 2.1.5 Normas de conforto térmico aplicadas em ônibus

Não existem normas de referências desenvolvidas unicamente para os ônibus. O que se sabe é que esse ambiente é considerado um veículo, e para tal, existe a família da ISO 14505. Essa ISO é um padrão internacional que está dividido em três partes, com uma quarta parte em desenvolvimento.

A ISO 14505-1 (2007) descreve os princípios de avaliação, fornecendo orientações na avaliação das condições térmicas no interior do veículo em estado estacionário, considera os princípios de avaliação e adequação dos métodos utilizados nas normas internacionais existentes (ISO 7730, ISO 7243, ISO 7933, e outras), além de estimar as taxas metabólicas para a condução, que são:  $70\text{Wm}^{-2}$  para boas estradas,  $80\text{Wm}^{-2}$  para estradas irregulares e  $90\text{Wm}^{-2}$  para condução *off-road* (ISO 14505-1, 2007).

A parte 2 da ISO 14505 descreve e orienta a determinação da temperatura equivalente ( $t_{eq}$ ), que é um índice térmico proposto para avaliação de ambientes veiculares e sua interpretação (ISO 14505-2, 2006). A temperatura equivalente corresponde ao voto médio de conforto térmico dos ocupantes de veículo.

Na parte 3 da ISO 14505, fornece os princípios gerais que permitem a avaliação do conforto térmico em veículos sem distinção. Além disso, ela fornece diretrizes e especifica um método que determina uma medida de desempenho das condições veicular, em termos de fornecer conforto térmico aos ocupantes ou não (ISO 14505-3, 2006).

A parte 4 está em desenvolvimento e descreverá um manequim térmico numérico que pode ser usado no projeto auxiliado por computador de ambientes térmicos de veículos (PARSONS, 2014).

Além das normas de conforto térmico voltadas para veículos, tem-se as de conforto térmico para ambientes internos, e essas podem ser utilizadas em ônibus. Segundo Olesen *et al.* (2002), a *International Organization for Standardization* (ISO) e *American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers*

(ASHRAE) desenvolveram as normas internacionais referentes ao conforto térmico para ambientes internos. Dessa forma, as principais normas nessa linha que podem servir de referência aos ônibus são: ISO 7726; ISO 7730; ISO 8996; ISO 10551; ISO 7243 e ASHRAE 55.

A ISO 7726 foi publicada em 1985 e passou por uma revisão em 1998. O objetivo dessa ISO é demonstrar os procedimentos para a mensuração dos parâmetros ambientais e que são utilizados nos cálculos dos índices de PMV-PPD de Fanger. Dessa forma, são especificadas as características mínimas aceitáveis dos equipamentos de medição necessários para o levantamento dos parâmetros ambientais, bem como os procedimentos que devem ser adotados nas medições desses parâmetros (ISO 7726, 1998).

O primeiro exemplar da ISO 7730 foi publicado em 1984, posteriormente, em 1994 ela foi revisada e em 2005 ela foi atualizada. Essa ISO exhibe métodos capazes de prever a sensação térmica e o grau de desconforto dos ocupantes expostos a ambientes térmicos moderados. Nela, é possível verificar a determinação e a interpretação analítica do conforto térmico por meio do modelo de Fanger do Voto Médio Predito (PMV) e da Percentagem de Insatisfeitos Prevista (PPD) (ISO 7730, 2005).

A ISO 8996 tem por objetivo a determinação da taxa metabólica (M) e especifica possíveis métodos para sua determinação. Segundo a ISO 8996 essa taxa é considerada importante na determinação do conforto térmico de um ambiente térmico (ISO 8996, 2004).

A ISO 10551 (2019) está em sua segunda edição, enquanto a primeira foi de 1995. Ela orienta a construção de escalas subjetivas para a avaliação de um determinado ambiente físico, por meio de questionários que podem ser aplicados aos ocupantes. As escalas mensuram a percepção, o conforto, a preferência, a aceitabilidade, forma de expressão e tolerância, e componentes ambientais como térmico, visual, qualidade do ar, acústica e vibração.

A norma ISO que trata do estresse térmico é a ISO 7243 (2017) e ela apresenta o método IBUTG para avaliar o estresse por calor ao qual uma pessoa pode estar exposta e, também, para estabelecer a presença ou ausência de estresse por calor. Além disso, ela aponta que pode ser aplicada nos ambientes ocupacionais internos e externos, bem como a outros tipos de ambiente, tanto em

adultos masculinos e femininos durante a jornada de trabalho de 8h diária (ISO 7243, 2017). Segundo Lamberts, Xavier e Goulart, (2016), essa norma não pode ser aplicada na avaliação do estresse térmico em pessoas exposta a um calor durante um período curto e nem para a avaliação de stress por calor no limiar da zona de conforto térmico.

Outra ISO que trabalha com o estresse térmico por calor é a ISO 7933, (2004). Ela apresenta um método para prever a taxa de suor e a temperatura interna do núcleo que o corpo humano desenvolverá em resposta às condições de trabalho por calor, e tem dois objetivos práticos: avaliar o estresse térmico em condições que possam levar a um aumento excessivo da temperatura central ou perda de água devido ao estresse térmico por calor; e a determinação dos tempos de exposição (tempo máximo de exposição permitido) com os quais o esforço fisiológico é aceitável (nenhum dano físico é esperado) (ISO 7933, 2004).

A versão mais recente da ASHRAE 55, das cinco publicadas, menciona as condições para ambientes térmicos aceitáveis e, normalmente, ela é usada no projeto, na operação e no comissionamento de ambientes ocupados. Para tanto, ela aprovisiona três métodos: um gráfico para situações simples, um método analítico para casos mais gerais e um método que usa velocidade do ar elevada para proporcionar conforto em ambientes internos. Ademais, essa norma também, especifica um método separado para determinar condições térmicas aceitáveis em espaços naturalmente condicionados ocupados (ASHRAE - 55, 2017).

Diante dessas normas internacionais específicas aplicáveis a ambientes veicular, e das demais que correspondem ao conforto térmico em ambientes interno e com a leituras sistemáticas dos artigos selecionados pela metodologia, foi possível identificar os padrões que já foram seguidos em análise do conforto térmico em ônibus e que estão resumidas no Quadro 9.

**Quadro 9 – Normas utilizadas nos estudos de conforto térmico em ônibus**

Referências	Normas
Zhu <i>et al.</i> (2020)	Não informadas
Pala (2020)	ASHRAE 55
Hossam, Fouad e Abou-Zaid (2020)	ASHRAE 55 e ISO 7730
Zhang <i>et al.</i> (2020)	Não informadas
Makowiec-Dąbrowska <i>et al.</i> (2019)	Não informadas
Zhu <i>et al.</i> (2018a)	Não informadas
Velt e Daanen (2017)	ISO 9886, ISO 10551 e ASHRAE 55
Unal (2017)	ASHRAE 55 e ASHRAE 62
Pala e Oz (2015)	ASHRAE 55

Pimenta e Assunção (2015)	Não informadas
Ismail <i>et al.</i> (2015b)	Não informadas
Ismail <i>et al.</i> (2015a)	Não informadas
Assuncao, Jardim e De Medeiros (2014)	Não informadas
Zhag, Zhou e Zhang (2014)	Não informadas
Vollaro (2013)	Não informadas
Lin <i>et al.</i> (2010)	ISO 10551, ISO 14505-3 e ISO 7726
Zhu, Demokritou e Spengler (2010)	ASHRAE 55
Mansour <i>et al.</i> (2008)	ASHRAE 55
Shek e Chan (2008)	ASHRAE 55
Mansour <i>et al.</i> (2007)	ASHRAE 55
Mui e Shek (2005)	Não informadas
Conceição, Silva e Viegas (1997)	ISO 7730 and ASHRAE 55

**Fonte: Autoria própria (2020)**

É percebido no Quadro 9 que as principais normas internacionais do conforto térmico (ISO e ASHRAE) foram empregadas em alguns estudos, e em outros, não foi possível identificar as normas que embasaram. Dessa forma, a ASHRAE 55 estava presente em dez estudos (CONCEIÇÃO *et al.*, 1997; HOSSAM *et al.*, 2020; MANSOUR *et al.*, 2007 e 2008; PALA, 2020; PALA; OZ 2015; SHEK; CHAN, 2008; UNAL, 2017; VELT; DAANEN, 2017; ZHU *et al.*, 2010) e pode ser considerada a mais utilizada em ambientes de cabines de ônibus.

Lin *et al.* (2010) foram os únicos a utilizar a norma ISO 14505-3, que é um dos 4 exemplares da série da ISO 14505 vinculadas ao conforto térmico veicular. Essa ISO pode ser usada em todo tipo de veículo, inclusive ônibus, e aplicada à passageiros e condutores.

Como comentado na subseção 2.1.3, foram três estudos que indagaram os ocupantes de ônibus a respeito de parâmetros subjetivos ou votos de sensação, preferência e aceitabilidade térmica, e dentre eles, Velt e Daanen (2017) e Lin *et al.* (2010) fizeram uso da ISO 10551, que fornece diretrizes para questionamentos subjetivos aos ocupantes em relação aos votos citados.

Após tomar ciência dos pontos gerais e específicos voltados ao tema delimitado dessa tese, conforto térmico, e após analisar os impactos dos estudos relevantes que investigaram as condições termo ambiental das cabines de ônibus, é de suma importância apontar as correntes de pensamentos que vislumbram mensurar o desempenho dos motoristas em termos de comportamento ecológico do ato de dirigir.

## 2.2 Comportamento ecológico dos motoristas de ônibus

Apontar os modelos ou ferramentas que possibilitem a mensuração objetiva dos erros do comportamento dos motoristas de ônibus em tempo real é o objetivo dessa seção. Vale destacar que os erros do comportamento proposto por essa pesquisa estão alinhados ao desempenho ecológico de dirigir em termos de consumo de combustível/energia dos ônibus.

Para tanto, buscou-se nas bases de dados da literatura trabalhos de alto impacto que tratassem dessa questão específica voltada ao desempenho dos motoristas de ônibus e, assim, estão explanados nas próximas subseções.

### 2.2.1 Conceitos de direção ecológica

A direção ecológica ou *eco-driving* envolve a análise de vários parâmetros e, na literatura, pode-se encontrar diferentes definições ou escopo para expressar esse termo. De forma mais ampla, Sivak e Schoettle (2012) definiram *eco-driving* em função das decisões que um motorista poderia tomar para influenciar na economia de combustível de seu veículo.

Para os autores citados, essas decisões estão categorizadas em três níveis, a saber: no nível estratégico, contempla-se pelas decisões que vão desde a escolha do veículo mais econômico na hora da compra até questões de manutenção do automóvel; no nível tático, as decisões refletem na escolha de rota, do combustível e até o peso do veículo; e no nível operacional, as decisões estão alinhadas com o comportamento do ato de dirigir dos condutores (SIVAK; SCHOETTLE, 2012).

Em outras palavras, o conceito de direção ecológica abrange mais do que apenas o comportamento de condução ecológica do motorista, como por exemplo: manutenção geral do veículo, telemetria, gerenciamento de tráfego, assistência de direção por computador entre outros fatores (ZAVALKO, 2018). Neste estudo, a direção ecológica é vista de forma mais específica e limita-se ao desempenho de direção ou ao controle que um motorista tem sobre o veículo durante uma viagem e que pode influenciar no consumo de combustível e nas emissões de gases dos veículos.

Dessa forma, o termo *eco-driving* mais apropriado para o contexto desta tese, seria o de que ele é utilizado para especificar a adoção de atitudes sustentáveis de direção que visam economizar combustível e reduzir as emissões

de gases de efeito estufa gerados pelos automóveis (ANDRIEU; PIERRE, 2012). Com isso, os benefícios da direção ecológica são, portanto, a diminuição do consumo de combustível e da emissão de CO<sub>2</sub>, e que, segundo Evin, Aydin e Kardas (2020), estão diretamente relacionados às técnicas de direção dos motoristas e ao modo como dirigem os veículos.

Nesse ponto de vista, a direção ecológica pode ser vista como um conjunto de escolhas ou estilos de comportamentos adotados pelos motoristas que estão ligados a uma forma eficiente de usar o veículo com eficiência energética (FAFOUTELLIS *et al.*, 2021).

Na literatura, pode-se encontrar três tipos de estilo de comportamento de direção dos motoristas, são eles: direção ecológica, direção normal e direção agressiva (DONKERS *et al.*, 2020). Normalmente, o estilo de direção mais agressivo pode aumentar o consumo de combustível e, conseqüentemente, diminuir a eficiência energética do veículo, enquanto um estilo de direção mais moderado (direção normal e ecológica) pode diminuir o consumo de combustível e, com isso, aumentar a eficiência energética (ZDRAVKOVIĆ *et al.*, 2021).

Esses estilos de direção foram caracterizados tendo por base os parâmetros de velocidade de direção, aceleração/desaceleração, aceleração laterais e frenagem (BARTH; BORIBOONSOMSIN, 2009; KEDAR-DONGARKAR; DAS, 2012; REYMOND *et al.*, 2001; WANG *et al.*, 2018; ZHU *et al.*, 2018b). Contudo, os principais índices e seus parâmetros de entrada na avaliação do comportamento ecológico dos motoristas seguido por essa tese estão expostos e foram discutidos nas seções 2.2.2 e 2.2.3, a seguir.

### 2.2.2 Índices da direção ecológica

Segundo Fafoutellis, Mantouka e Vlahogianni (2021), para desenvolver um estudo que visa modelar o comportamento de direção e seu efeito no consumo de combustível dos veículos, é essencial fazer isso em condições do mundo real. Além disso, recomenda-se que os motoristas desenvolvam suas atividades de dirigir normais, com hábitos e vícios diários e em paralelo será registrado os dados de entrada dos modelos por meio de dispositivos eletrônicos (HUANG *et al.*, 2018).

Os *On-Board Diagnostic scanners* (OBDS) são os dispositivos eletrônicos que se acoplam ao sistema *Controller Area Network* (CAN) dos veículos e são

comumente utilizados para emitirem os dados relevantes relacionadas a performance dos veículos e do comportamento de direção dos motoristas Hermawan; Husni (2020). Além disso, Adamidis, Mantouka e Vlahogianni (2020) validaram os *smartphones* modernos por dois motivos plausíveis: primeiro, porque eles são equipados com vários sensores, incluindo um acelerômetro e *Global Positioning System* (GPS), e possuem recursos de computação aprimorados; e segundo, porque a grande maioria dos motoristas possui esse tipo de tecnologia e esses aparelhos tem a possibilidade de coletar uma grande quantidade de dados a um custo relativamente baixo.

Tendo o conhecimento dos equipamentos válidos para coletar os dados representativos de entrada dos modelos de consumo de combustível, é essencial apresentar os modelos que são capazes de prever o comportamento dos motoristas em função do consumo de combustível. Dessa forma, recentemente Fafoutellis, Mantouka e Vlahogianni (2021) e Huang *et al.* (2018) publicaram um estudo de revisão que listam os principais modelos capazes de avaliar o consumo de combustível em função do comportamento dos motoristas.

Huang *et al.* (2018) fizeram uma comparação entre os modelos de consumo de combustível disponíveis na literatura e apontaram as vantagens e desvantagens de cada um deles. Com isso, os autores citados categorizaram esses modelos em oito classes, a saber: dinamômetro do motor, dinamômetro do chassi, simulador de direção, *Portable Emissions Measurement System* (PEMS), *Data logger*, leitura do odômetro e registro de combustível, enquete, e modelagem numérica. Dessa forma, as classes que melhor se enquadram na proposição dessa tese são o PEMS, o *Data logger*, o da leitura do odômetro e o registro de combustível, pois eles representam os dados do mundo real, confiabilidade e precisão aceitável, baixo custo e não interfere no desempenho dos motoristas (HUANG *et al.*, 2018).

Fafoutellis, Mantouka e Vlahogianni (2021) listaram dezessete modelos que relacionam a direção ecológica e consumo de combustível, assim como as metodologias utilizadas, os tipos de dados utilizados (real ou simulados), bem como os parâmetros mais importantes que são levados em consideração no processo de modelagem de cada um deles.

Ao verificar os modelos listados pelos autores citados, é possível apontar os que trabalham com os dados reais (GILMAN *et al.*, 2015; PING *et al.*, 2019;

WALNUM; SIMONSEN, 2015; WICKRAMANAYAKE; BANDARA, 2016; XU *et al.*, 2018; YAO *et al.*, 2020a; YAO *et al.*, 2020b; ZETTERBERG WALLIN; CRÉTIER, 2016) e que se enquadram na proposição desta tese.

Dentre os modelos listados que utilizam os dados reais do comportamento dos motoristas para prever o consumo de combustível, os desenvolvidos por Walnum e Simonsen (2015), Gilman *et al.* (2015) e Xu *et al.* (2018) podem ser considerados os mais utilizados para esse fim.

Para esses modelos listados, os principais dados de entrada são a velocidade e a aceleração/desaceleração. Dessa forma, será abordado na seção 2.2.3 os parâmetros comumente utilizados para avaliar o desempenho econômico e ecológico do comportamento ecológico dos motoristas.

### 2.2.3 Parâmetros do comportamento ecológico dos motoristas

Como explicitado na seção 2.2.1, o interesse desta pesquisa é avaliar unicamente o comportamento ecológico do ato de dirigir dos motoristas e, segundo Liimatainen (2011) e Zdravković *et al.* (2021), os parâmetros que não são associados diretamente a esse comportamento como tipo de veículo, especificações do veículo, escolha da rota e densidade do tráfego, têm um efeito significativo no consumo de combustível e, portanto, o efeito desses parâmetros pode ser isolado ou minimizado para permitir uma comparação justa dos motoristas com base no consumo de combustível vinculado unicamente ao estilo de direção deles.

Ao isolar os parâmetros independentes do comportamento dos motoristas, o consumo de combustível pode ser utilizado como um indicador de desempenho vinculado a decisão operacional da direção ecológica (ZDRAVKOVIĆ *et al.*, 2021). Para os autores citados, as informações fornecidas pelos sistemas a bordo dos veículos como CAN são válidas para comparar o desempenho dos motoristas.

No geral, esses sistemas CAN fornece o *feedback* do consumo de combustível, a velocidade do motor, a velocidade do veículo, a distância percorrida, entre outros. Quando o CAN é associado a um OBDs, além desses parâmetros citado, eles emitem um diagnóstico da emissões de gases, velocidade de movimento, aceleração, uso do freio, entre outros, e a resolução do tempo é geralmente de um segundo (HERMAWAN; HUSNI, 2020).



Para Díaz-Ramirez *et al.* (2017), as variáveis ligadas aos erros de direção (excesso de aceleração, frenagem e velocidade excessiva) e comportamento do motorista (velocidade do motor em rotações por minuto e velocidade do veículo) são mais sensíveis ao treinamento de direção ecológica e relevantes ao consumo de combustível. Já Sanguinetti, Kurani e Davies (2017) dividiram o comportamento de condução em aceleração/desaceleração, velocidade de direção, espera, seleção do modo de condução e estacionamento.

Em sua revisão, Huang *et al.* (2018) limitaram seu estudo em descrever alguns parâmetros (velocidade de direção, aceleração/desaceleração, escolha de rota, marcha lenta e acessórios do veículo, entre outros) vinculados aos comportamentos de direção ou ao controle dos motoristas sobre o veículo durante uma rota.

A limitação proposta pelo presente estudo está próxima a do estudo dos autores citados, salvo os parâmetros (escolha da rota, acessórios dos veículos e entre outros) pois esses estão ligados a decisão operacional dos motoristas sobre os veículos e não ao comportamento de direção ecológica mais comum e útil.

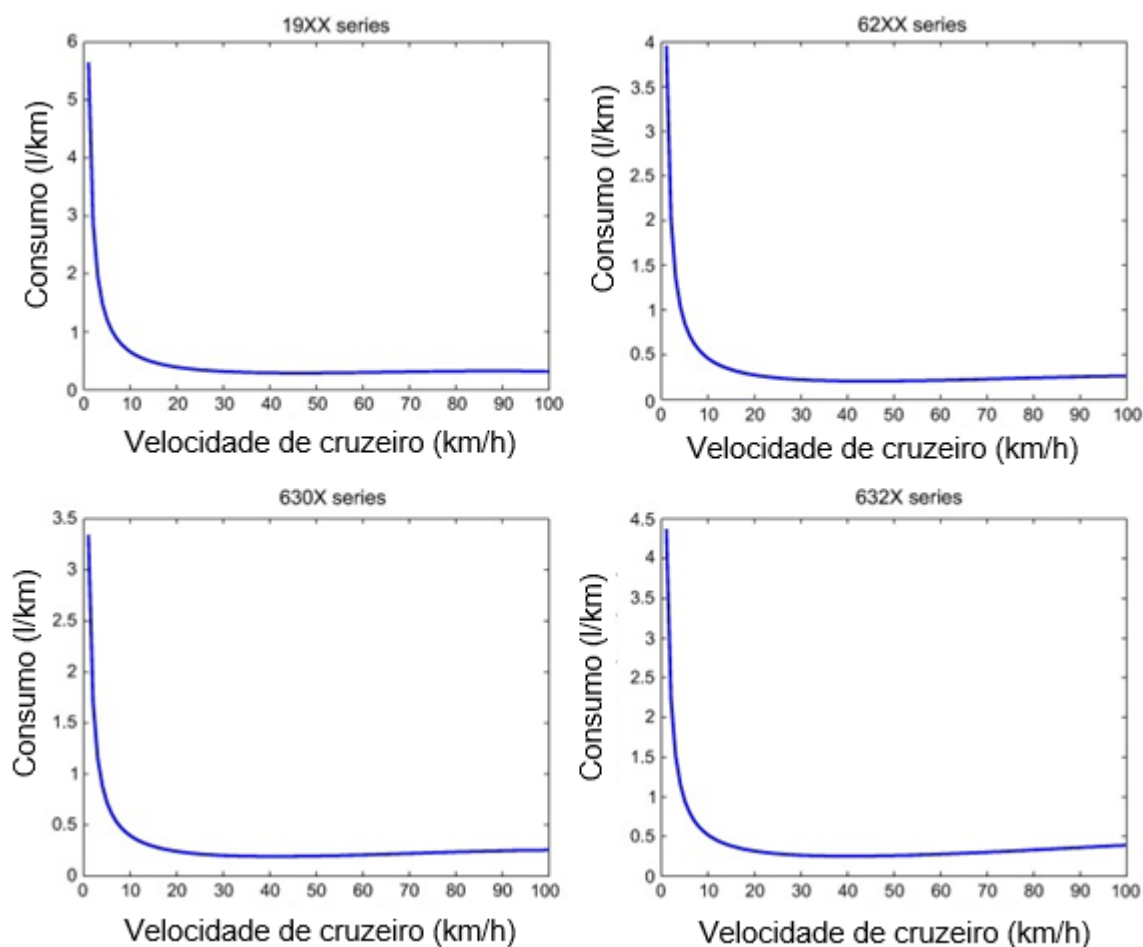
Segundo Fafoutellis, Mantouka e Vlahogianni (2021), os parâmetros mais frequentemente usados para definir o estilo de direção estão relacionadas à velocidade do veículo e aceleração/desaceleração. Além disso, a taxa de consumo de combustível é dominada pelas variáveis velocidade e aceleração dos veículos (GAO *et al.*, 2019) e, devido a estes fatos, que serão abordados com mais clareza os parâmetros velocidade de direção e aceleração/desaceleração.

### 2.2.3.1 Velocidade de direção

O parâmetro velocidade de direção tem um impacto grande no consumo de combustível dos veículos, sendo considerado o mais importante no cálculo do consumo independente da abordagem (FAFOUTELLIS *et al.*, 2021), e isso ocorre porque os motores dos veículos tem uma velocidade ideal para a economia de combustível (HUANG *et al.*, 2018).

De acordo com os autores citados, o consumo de combustível dos ônibus a diesel em função da velocidade do veículo tem um perfil de U, como pode ser observado nos gráficos da Figura 2.

**Figura 2 – Impacto da velocidade de cruzeiro no consumo de combustível**



**Fonte: Adaptado de Wang e Rakha (2016)**

Nos gráficos da Figura 2, apresentados por Wang e Rakha (2016), é possível observar que os perfis do consumo de combustível em função da velocidade de cruzeiro são similares, independente do modelo do ônibus analisado (19XX series, 62XX series, 630X series e 632X series). Além disso, os autores citados apontam que a velocidade de cruzeiro para uma economia de combustível ideal pode ser alcançada quando a taxa de consumo de combustível do ônibus atingir o nível mínimo nas curvas dos gráficos.

Na prática, a taxa de consumo de combustível primeiro diminui com o aumento da rotação do motor devido às perdas de calor reduzidas, atinge o ponto ideal e depois aumenta em alta velocidade devido ao aumento das perdas por atrito (HUANG *et al.*, 2018). Em condições ideais, a velocidade de direção deveria se manter constante nas diferentes condições de estrada (CHANG; MORLOK, 2005; LEE; SON, 2011), e é devido a esse fato que se recomendam o controle de cruzeiro para direção ecológica (SIVAK; SCHOETTLE, 2012).

A literatura estima várias velocidades ideais para reduzir o consumo de combustível dos automóveis e, normalmente, esse parâmetro vai depender das características dos veículos e da rota, como: o tipo de combustão (SANGUINETTI *et al.*, 2017), do porte (WANG; RAKHA, 2016), tempo de viagem, nível ou grau da estrada, semáforos e fluxo de tráfego (D'AMATO *et al.*, 2017; MENSING *et al.*, 2013; SAERENS *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2014).

Os valores de 60 – 90 km/h das velocidades constante de direção para veículos com o intuito de economia de combustível foram estimados por El-Shawarby, Ahn e Rakha (2005), já Wang *et al.* (2008) descobriram os valores ideais entre 50 – 70 km/h, e no caso dos ônibus, Wang e Rakha (2016) recomendam que a velocidade ideal dos ônibus a diesel está entre 40 - 50 km/h.

No entanto, no mundo real, esse parâmetro não pode ser mantido constante devido a fatores externos ao controle do motorista e deve considerar o limite de velocidade das vias e estradas. Dessa forma, a velocidade de direção ecológica é geralmente recomendada abaixo do limite de velocidade permitido por lei (BARKENBUS, 2010; BIRRELL *et al.*, 2014; SANGUINETTI *et al.*, 2017) e a melhor prática está em mantê-la o mais constante possível (FAFOUTELLIS *et al.*, 2021).

### 2.2.3.2 Aceleração/desaceleração

Outro parâmetro de direção ecológica crucial que impacta o consumo de combustível e no perfil dos motoristas é a aceleração/desaceleração (ZDRAVKOVIĆ *et al.*, 2021). É uma variável que vai interferir em outras que viabilizam a direção ecológica, como na velocidade de direção e na velocidade do motor (Rotações Por Minuto - RPM).

Neste sentido, recomenda-se que os motoristas evitem acelerar/desacelerar excessivamente e manter as velocidades constantes (JEFFREYS *et al.*, 2018). Em contrapartida, Saerens e Van Den Bulck (2013) e Xia, Boriboonsomsin e Barth (2013) defendem que uma aceleração/desaceleração mais agressiva para alcançar a velocidade ideal economizaria combustível em certas situações. No entanto, a direção ecológica geralmente incentiva os motoristas a minimizar o uso dos pedais do acelerador e do freio, observando o fluxo do tráfego, os sinais e o nível da estrada.

Normalmente, motoristas agressivos são caracterizados por acelerações e desacelerações bruscas, enquanto que os motoristas com perfil normal ou ecológico são mais cautelosos ou suaves (FAFOUTELLIS *et al.*, 2021). Segundo Huang *et al.* (2018), a intenção da direção ecológica é mudar o comportamento de direção agressivo, que se refere principalmente nas fortes acelerações e desacelerações, para um estilo mais suave.

Para Fafoutellis, Mantouka e Vlahogianni (2021) são duas as consequências no consumo de combustível dos veículos devido a descrença desse parâmetro por parte dos motoristas não ecológicos: em primeiro, o ato de desacelerar frequentemente reflete no de acelerar com a mesma frequência e, com isso, aumenta o consumo devido ao aumento da energia cinética ao restaurar a velocidade do veículo; a segunda consequência é que, ao acelerar demais ou bruscamente, o motor do veículo desenvolve uma RPM mais alta aumentando o consumo de combustível.

Alguns valores de referências da aceleração podem ser encontrados na literatura. Pozueco *et al.* (2017) definiram a aceleração aceitável entre 0,5 e 1,078  $m/s^2$ . Araújo *et al.* (2012) definiram limites ecológicos para a aceleração (2  $m/s^2$ ) quanto para a desaceleração (-3  $m/s^2$ ) e o mesmo fizeram Díaz-Ramirez *et al.* (2017) ao usarem os limites de 2,78  $m/s^2$  e - 3, 89  $m/s^2$  para a aceleração e desaceleração respectivamente. Um pouco mais tolerantes, Zhou e Jin (2017) definiram a aceleração máxima permitida de 4  $m/s^2$  em seu estudo.

Para Pelkmans *et al.* (2001), a aceleração foi o parâmetro dominante em ônibus no trânsito da cidade e foi responsável por 70% do consumo de combustível e 60 a 80% das emissões dos gases.

Tendo em vista os principais índices e seus parâmetros de entrada que servem para distinguir o estilo de direção ecológico dos não ecológicos, o capítulo 3 se destina a discutir a metodologia adotada para fins de análise do comportamento econômico e ecológico dos motoristas, assim como, do conforto térmico das cabines dos ônibus desenvolvido por essa pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é exposta a metodologia utilizada para o estudo de campo desta pesquisa, e está dividido em quatro grandes seções, a saber: caracterização das variáveis do estudo; caracterização da amostra; procedimentos de levantamento de dados; e procedimento de análise de dados.

#### 3.1 Caracterização das variáveis do estudo

Tendo em vista os objetivos dessa pesquisa, expostos no Capítulo 1, dividiu-se as variáveis dessa pesquisa em dependentes, independentes e intervenientes.

A variável dependente é o erro no comportamento ecológico dos motoristas, vinculada ao estilo de direção dos condutores, e mensurada em tempo real em sua rota de trabalho. Traduziu-se o erro em termos de proporção de tempo que a velocidade dos ônibus não permanece dentro dos limites de velocidade de cruzeiro.

Para fins de análise deste estudo, os limites de velocidade de cruzeiro respeitados nesta pesquisa, levou em consideração os limites de velocidade permissíveis por lei para vias urbanas, de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro, e dos limites de controle ecológico ideal mencionados por Wang e Rakha (2016), Lai (2015) e Zhai, Frey e Roupail (2008). Portanto, determinou-se que, quando a velocidade dos ônibus estiver dentro dos limites de velocidade cruzeiro ideal de  $35\text{km/h} \leq V_{ECO} \leq 50\text{km/h}$ , implicaria num estilo de direção ecológica por parte dos motoristas de ônibus urbano.

As variáveis independentes, por sua vez, estão relacionadas com os seis parâmetros da metodologia do conforto térmico, utilizados como entrada dos índices PMV-PPD de Fanger. Com isso, o Quadro 10 expõe as variáveis independentes e suas respectivas unidades.

**Quadro 10 – Variáveis independentes e suas unidades**

Parâmetros do conforto térmico	Variáveis independentes	Unidades
Pessoais	Taxa metabólica; Isolamento das vestimentas;	Met; Clo;
Ambientais	Temperatura radiante média; Temperatura ar; Velocidade do ar; Umidade relativa;	°C; °C; m/s; %

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Além de mensurar os parâmetros ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e velocidade do ar) e estimar os

parâmetros pessoais (taxa metabólica e isolamento térmico das roupas, respectivamente) do Quadro 10, foi questionado sobre sensação, percepção e preferência térmica dos motoristas para avaliar subjetivamente o conforto térmico, seguindo as normas internacionais ISO 10551 (2019), e de acordo com o questionário de pesquisa presente no Apêndice A.

Por último, as variáveis intervenientes investigadas foram as características físicas dos motoristas (gênero, idade, altura e peso) e fatores relacionados ao trabalho (tempo de serviço na rota, tempo de serviço na empresa e turno de trabalho), que foram questionadas junto aos motoristas, por meio do questionário de pesquisa presente no Apêndice A.

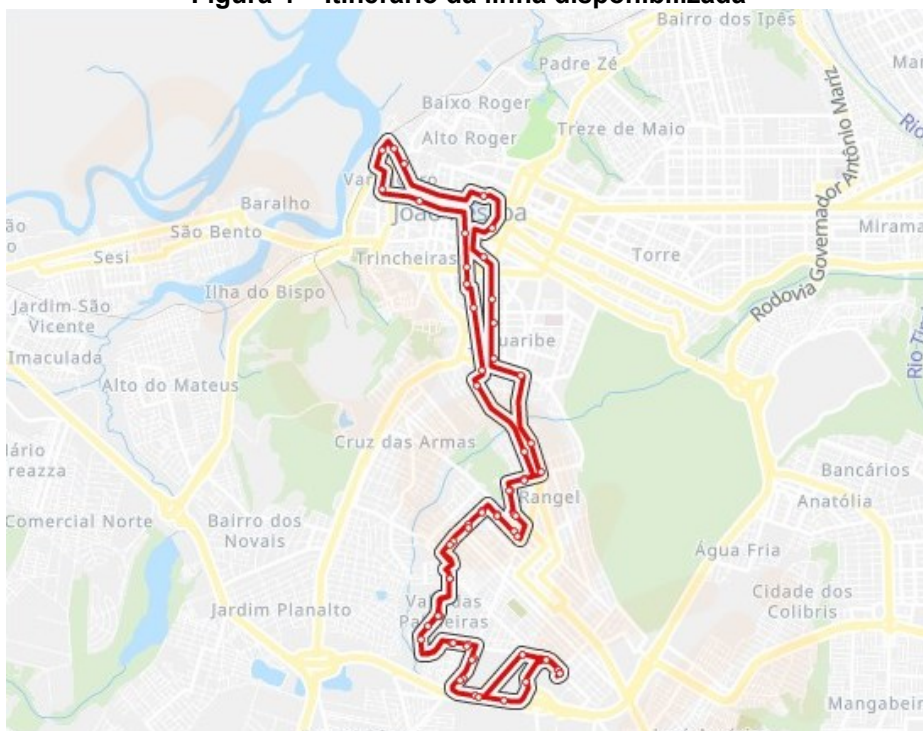
### **3.2 Caracterização da amostra**

A pesquisa de campo empregou como método de amostragem a técnica não probabilística. Neste tipo de técnica, os elementos são incluídos no estudo sem que suas probabilidades sejam conhecidas, pois a amostra não é previamente determinada estatisticamente Sweeney *et al.* (2013).

Diante disso, o presente estudo foi conduzido em uma empresa de transporte que atende aos segmentos de transporte coletivo público da região metropolitana da cidade de João Pessoa, na Paraíba. A empresa disponibilizou uma linha de transporte público, conforme a Figura 3, que faz a rota do bairro Cristo Redentor até o terminal rodoviário do bairro Varadouro, de acordo com o mapa da Figura 4.

**Figura 3 – Modelo de ônibus observado na pesquisa**

Fonte: Adaptado de ÔNIBUS PARAÍBA, (2020)

**Figura 4 – Itinerário da linha disponibilizada**

Fonte: Adaptado MOOVIT, (2022)

Na Figura 3, tem-se o modelo do ônibus (Marcopolo) que faz parte dessa linha disponibilizada, a qual tem uma capacidade de 42 passageiros sentados, além do motorista. A rota, exibida na Figura 4, é composta por 60 estações de paradas obrigatórias, distribuídas em aproximadamente 24km, e com uma duração média de aproximadamente 80min.

A linha estudada é composta de 4 motoristas do sexo masculino e, desse total, foram incluídos na amostra dessa investigação, 3 condutores que estavam aptos e que se propuseram em participar da pesquisa. Além disso, durante os dias de semana, normalmente, os condutores fazem 6 viagens diárias e que são divididas igualmente em dois turnos de trabalho.

A pesquisa de campo durou 60 dias, se iniciando no dia 24 de setembro de 2021, e finalizando no dia 22 de dezembro de 2021. Os 60 dias de levantamento foram divididos igualmente pelos 3 condutores da amostra, e em cada dia foram observadas 3 viagens (2ª, 4ª e 5ª viagens). Dessa forma, cada condutor foi observado durante 20 dias de medição e 60 viagens, sobre as das condições térmicas e comportamento ecológico e, com isso, o total de observações foram de 180, ao final do levantamento.

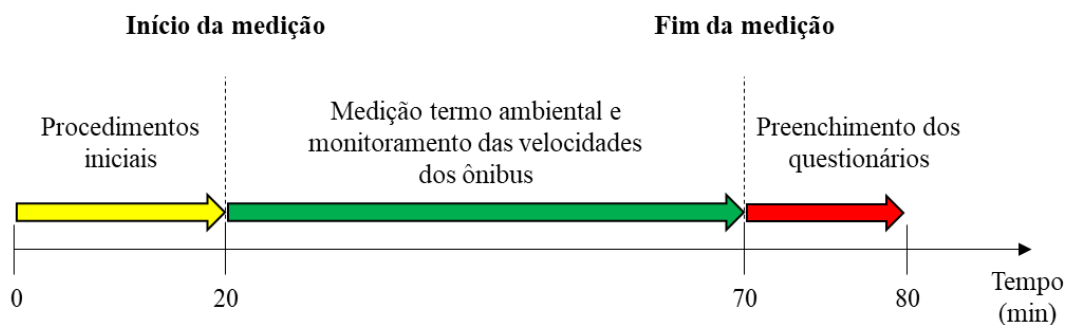
### **3.3 Procedimentos de levantamento de dados**

Como mencionado na subseção 3.2, a empresa forneceu uma linha de ônibus urbana que é composta por 4 motoristas, dos quais 3 propuseram a participarem da pesquisa. Diante disso, o pesquisador informou o objetivo geral da pesquisa, elencou os equipamentos e explicou o protocolo experimental para a amostra citada.

Após a explicação, a pesquisa de campo, referente às avaliações das condições térmicas nas cabines dos ônibus urbanos e levantamento do comportamento ecológico motoristas, ocorreu seguindo o protocolo experimental de acordo com a Figura 5.



**Figura 5 – Protocolo experimental do trabalho de campo**



Fonte: Autoria própria (2021)

Na Figura 5, pode ser visualizado o protocolo experimental seguido por esta pesquisa. Durante a realização dos levantamentos de campo, o pesquisador buscou interferir o mínimo possível no ambiente e na jornada de trabalho da amostra.

De acordo com a Figura 5, os levantamentos tiveram uma duração média de 80 minutos, divididos em três procedimentos: **procedimentos iniciais**, relacionados ao posicionamento e aclimatação do equipamento responsável pelo monitoramento das condições térmicas das cabines dos motoristas; **medição termo ambiental e monitoramento das velocidades dos ônibus**, referente ao levantamento das variáveis representativas das condições térmicas das cabines dos motoristas (temperatura do ar, temperatura de globo, velocidade do ar e umidade relativa do ar) e da variável dependente (velocidade do ônibus); e **preenchimento do questionário**, referente à aplicação do questionário para o levantamento das variáveis dependentes (taxa metabólica e isolamento térmico das vestimentas), bem como das variáveis intervenientes, apresentadas na subseção 3.1.

Tendo em vista o protocolo experimental e as variáveis informadas na subseção 3.1, esse estudo foi conduzido com o uso de três ferramentas de levantamento de dados. Dessa forma, as ferramentas empregadas na medição em campo foram: o equipamento Confortímetro Sensu®, apresentado na Figura 6 e instalado conforme a Figura 7; um aplicativo de celular, exposto na Figura 8; e um questionário de pesquisa, conforme o Apêndice A.

**Figura 6 – Confortímetro Senu®**

**Fonte: Autoria própria (2021)**

A Figura 6 apresenta o equipamento que foi utilizado para o levantamento das variáveis ambientais referentes às condições térmicas consideradas relevantes nos estudos de conforto térmico. Esse confortímetro tem a capacidade de mensurar e armazenar os valores das variáveis temperatura do ar ( $t_a$ ), temperatura de globo ( $t_g$ ), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do ar ( $V_a$ ).

O pesquisador posicionou o confortímetro nas cabines dos motoristas de ônibus, ligou o equipamento no início das viagens e esperou aclimatar durante 20min, para em seguida começar a registrar os dados, conforme o protocolo. O posicionamento do equipamento na cabine dos motoristas foi a uma altura de 60cm do piso do ônibus, ao ponto médio do globo negro do equipamento, seguindo os padrões da ISO 7726 (1998), e conforme exibido na Figura 7.

**Figura 7 – Posicionamento do confortímetro na cabine dos motoristas**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Na Figura 7 é possível visualizar o confortímetro, que está circulado e destacado, utilizado para registrar as medições dos parâmetros ambientais das cabines. Os registros das medições dos parâmetros ambientais do conforto térmico ocorreram no intervalo de 1 em 1 minuto com duração total da medição de 50min.

A variável pessoal isolamento térmico das roupas dos motoristas, que também é necessária para compor o estudo de conforto térmico, foi levantada com a ajuda do questionário de pesquisa do Apêndice A. O questionário foi adaptado de Xavier (2000), e está de acordo com as ISO 9920 (2007) e ISO 8996 (2004). Ademais, nesse questionário de pesquisa, foi questionado aos motoristas sobre os seus votos de sensação, preferência e avaliação térmica de acordo com a ISO 10551 (2019).

A ferramenta que monitorou as velocidades de direção dos ônibus durante as viagens foi um aplicativo de *smartphone*, e este foi levado a bordo pelo pesquisador. A *interface* do aplicativo pode ser visualizada conforme a Figura 8.

**Figura 8 – Ferramenta de monitoramento da velocidade dos ônibus**



Fonte: Autoria própria (2021)

A Figura 8 exibe a *interface* do aplicativo que registrou as velocidades de direção dos ônibus durante as rotas. O aplicativo de celular Speedometer 55 Pro. GPS Kit foi desenvolvido e validado por Yamato e Tachibana (2018), e com essa ferramenta é possível mensurar a velocidade instantânea, altitude e posicionamento geográfico em instante de segundo, com detalhes. Além disso, ele é provido de uma “caixa preta”, onde são armazenados os dados citados que, por sua vez, podem ser compartilhados via planilha em formato do tipo csv, evitando erros de digitação.

O aplicativo tem uma versão gratuita simplificada, no entanto, foi utilizado a versão original completa com direito à outras funções e geração de relatórios citados. Ademais, por meio do GPS, ele utiliza a geolocalização do celular e faz uso de mapas reais das cidades, para acompanhar os limites de cada via do trajeto de viagens e identificar os erros cometidas pelos motoristas, mas para isso, foi necessário o uso de dados móveis do celular.

O Speedometer 55 Pro. GPS Kit já foi utilizado em outra pesquisa, cuja finalidade foi o monitoramento da velocidade de carros de passeio e caminhão Ribeiro (2019).

No geral, os aplicativos de celulares já são utilizados em pesquisas acadêmicas de alto impacto e, de acordo com Mantouka, Barmounakis e Vlahogianni (2019), os dados de direção podem ser coletados em massa, por meio de sensores embutidos em aparelhos de celulares, evitando as soluções caras e

ineficientes de dispositivos em veículos. Mantouka *et al.* (2020) e Adamidis, Mantouka e Vlahogianni (2020), foram outros autores nessa mesma linha de pesquisa que validaram o uso dos aplicativos de *smartphones* modernos, devido aos argumentos listados por Mantouka, Barmounakis e Vlahogianni (2019).

Nguyen *et al.* (2019), de forma semelhante, utilizaram um aplicativo de celular (*Timestamp datalogger*) para monitorar o conforto percebido pelos passageiros dentro de um ônibus em trânsito, por meio da aceleração lateral e do solavanco lateral. Para os autores citados, o uso de aplicativos dessa natureza tem um papel facilitador nas pesquisas que desejam coletar dados simultâneos e em tempo real.

### **3.4 Procedimento de análise de dados**

O procedimento de análise de dados ocorreu em paralelo ao levantamento dos dados, devido ao grande número de arquivos gerados do tipo csv dos equipamentos confortímetro e do aplicativo de celular. De posse desses arquivos, organizou-se os dados coletados em planilhas eletrônicas e, posteriormente, foram processados pelo *software* R Studio®, para efeitos dos cálculos dos testes estatísticos, modelagem e plotagem dos gráficos. O R Studio® é público e tem uma linguagem de programação que em sua *interface* apresenta um ambiente de desenvolvimento integrado para cálculos estatísticos e plotagem dos gráficos.

No geral, o procedimento de análise de dados foi dividido em três etapas, cuja finalidade foi alcançar os objetivos específicos e geral da pesquisa. As etapas executadas foram: cálculo da proporção de tempo que os condutores não permaneciam com a velocidade dos ônibus dentro dos limites de velocidade de cruzeiro ideal; cálculos da condição de conforto térmico; e análises estatísticas a partir dos dados medidos.

#### **3.4.1 Cálculo do erro no comportamento ecológico**

Visto que a variável de interesse deste estudo, erro do comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano, foi estimada pela proporção de tempo que os condutores não conseguem manter a velocidade dos ônibus dentro dos limites de velocidade de cruzeiro ideal durante o percurso, de cada viagem

observada e, dessa forma, a Equação 12 foi utilizada para calcular essa proporção do tempo.

$$Er = 1 - \left( \frac{T_{ve}}{T} \right) \quad (12)$$

onde,

Er = proporção do tempo que a velocidade do ônibus não esteve dentro dos limites de velocidade ecológica;

T<sub>ve</sub> = tempo que a velocidade do ônibus esteve dentro dos limites de velocidade ecológica;

T = tempo total da viagem.

#### 3.4.2 Cálculos dos índices de conforto térmico

Tendo por base os dados que foram coletados em campo, calculou-se a temperatura radiante média, os índices PMV de Fanger, temperatura equivalente e o IBUTG. Foram escolhidos esses índices para avaliar as condições térmicas mensuradas das cabines de ônibus, pois, eles estão previstos em normas internacionais e nacionais (ASHRAE-55, ISO 7730, ISO 14505-2 e NR-15,).

A temperatura radiante média e os índices teq e IBUTG foram calculados por meio das Equações 2, 9 e 10, respectivamente, e elas foram apresentadas no Capítulo 2. Os valores do índice PMV foram calculados pelo Thermal Comfort Tool, para cada viagem observada.

O Thermal Comfort Tool é uma ferramenta *online* e gratuita, desenvolvida pelo Center for the Built Environment (CBE) da Berkeley University of California. Essa ferramenta pode ser utilizada para cálculos e visualizações de índices do conforto térmico, que estão em alinhado com as normas ASHRAE 55–2017, ISO 7730:2005 e EN 16798–1:2019 (TARTARINI *et al.*, 2020). Como entradas no cálculo do índice citado, foram calculados os valores médios dos 4 parâmetros ambientais de cada viagem, e em conjunto com as estimativas dos dois parâmetros pessoais.

Os parâmetros pessoais, isolamento térmico da vestimenta e a taxa metabólica dos motoristas, foram estimados de forma a minimizar os possíveis erros de cálculos dos índices PMV-PPD. Logo, pode-se dividir em dois procedimentos adotados para cada um dos parâmetros pessoais citados.

Para estimar o isolamento da vestimenta dos motoristas, utilizou-se o questionário de pesquisa do Apêndice A e levou-se em consideração as diretrizes e tabelas da ISO 9920 (2007). Dessa forma, observou-se que as vestimentas dos motoristas se trata do fardamento exigido e disponibilizado pela empresa e, além disso, dois dos três motoristas faziam uso de uma camisa interna. Como recomenda a ISO 9920 (2007), e seguida por esta pesquisa, houve a inclusão e o acréscimo do isolamento térmico referente ao assento dos ônibus, o qual foi adicionado 0,25clo para cada motorista.

Na tratativa da estimativa da taxa metabólica, a pesquisa fez uso dos dados da amostra utilizada por Xavier (2000). Logo, foi extraído as características físicas dos 30 indivíduos da amostra e calculado os valores das taxas metabólicas, segundo a Equação 13.

$$M = Mt * \left( \frac{Adu.p}{Adu.a} \right) \quad (13)$$

onde:

M = taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>)

Mt = taxa metabólica tabelada da ISO 8996 (1990) (W/m<sup>2</sup>)

Adu.p = Área de Dubois de um indivíduo padrão (altura de 1,80 e peso de 70kg)

Adu.a = Área de Dubois da amostra

Por meio da Equação 13, calculou-se as taxas metabólicas da amostra citada e tabelou-se juntamente com as estimativas das taxas extraídas de Xavier (2000). De posse desses dados, executou-se os testes estatísticos (F–Snedecora e T–Student) para verificar a estimativa que melhor se aproximou da taxa metabólica calculada pela ISO 8996 (1990), também extraída do autor citado. Contudo, a equação que melhor representou a ISO 8996 (1990), frente ao conjunto de dados extraído da amostra citada, foi a da Equação 13 e, com isso, ela foi usada para calcular a taxa metabólica dos motoristas de ônibus desta pesquisa.

### 3.4.3 Análise estatística

No tocante à análise estatística, este projeto de pesquisa analisou sob duas perspectivas: a descritiva e inferencial.

A estatística descritiva são procedimentos estatísticos utilizados para resumir, organizar e simplificar os dados (GRAVETTER; WALLNAU, 2016), possuindo várias técnicas, dentre as quais se destaca a Análise Exploratória de Dados (AED). Nesse tipo de análise, o pesquisador tem a flexibilidade para responder aos padrões revelados na análise preliminar dos dados (COOPER; SCHINDLER, 2014), utilizando técnicas gráficas e informações tabulares.

Em uma visão holística, existem dois métodos utilizados na abordagem da AED: (1) geração de grandes lotes de dados e (2) geração de números a partir dos dados computados (MORGAN *et al.*, 2019). Para o presente estudo, utilizou-se a segunda abordagem, já que ela oferece informações mais relevantes em sintonia ao objetivo proposto. Nessa abordagem, procurou-se obter dos dados, a maior quantidade possível de informações que indiquem modelos plausíveis a serem utilizados posteriormente na inferência estatística (MORETTIN; BUSSAB, 2017).

A inferência estatística, por sua vez, possui o objetivo de extrair conclusões (uma inferência) sobre as condições que existem em uma população (o conjunto completo de observações), estudando uma amostra (um subconjunto) tirada da população (KING *et al.*, 2018). Nesse contexto, este estudo utilizou da metodologia de Modelos Lineares Generalizados em três frentes diferentes, são elas: primeiramente, para relacionar os votos de sensação, avaliação e preferência com os parâmetros do conforto térmico; em seguida, para avaliar se os índices PMV de Fanger e temperatura equivalente podem ser considerados previsores da sensação térmica dos motoristas; e por último, para verificar se existe relação entre a proporção de tempo que os condutores permaneciam com a velocidade dos ônibus dentro dos limites de velocidade de cruzeiro e os parâmetros do conforto térmico.

As duas primeiras frentes fizeram uso de Modelos de Regressão Logística Ordinal e a terceira utilizou os Modelos de Regressão Beta. Este fato foi devido às naturezas das variáveis dependentes utilizadas nas três frentes, em que as duas primeiras eram de natureza categóricas ordinais e a terceira era de proporção.

Os procedimentos de construção e análise dos modelos foram semelhantes para as três frentes, mas os procedimentos de validação (diagnósticos) dos modelos se distinguiram entre as duas primeiras da terceira frente. No geral, os procedimentos utilizados por esta pesquisa seguiram a abordagem de modelos de



regressão proposto por Hosmer Jr; Lemeshow e Sturdivant (2013), da seguinte forma:

- Construção de modelos tendo por base as variáveis independentes que não possuam correlação forte;
- Ajuste das variáveis independentes aos modelos pelo método Backward;
- Análise do teste de verossimilhança e do Pseudo  $R^2$  dos modelos ajustados;
- Diagnósticos dos modelos;

Na tratativa de ajustar as variáveis independentes aos modelos, esta pesquisa recorreu ao método Backward, que segundo Hosmer Jr, Lemeshow e Sturdivant (2013), esse método utiliza o Critério de Informação Akaike para eliminar as variáveis insignificantes aos modelos.

Ainda de acordo com Hosmer Jr; Lemeshow e Sturdivant (2013), a dinâmica do Backward inicia com a inclusão de todas as variáveis independentes que não apresentam correlação forte ao modelo e, em seguida, ajusta-se o modelo pela retirada da variável mais insignificativa, caso exista, até que restem apenas as variáveis significativas. Essa retirada leva em consideração a comparação dos resultados dos testes de Wald, vinculados a estatística de teste “p\_valor Z” dos coeficientes das variáveis, ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , sendo extraída do modelo a variável que apresente o maior valor dos p\_valor Z que foram maiores que  $\alpha$ .

A análise dos modelos ajustados segue pela verificação dos testes de verossimilhança e dos valores do Pseudo  $R^2$ . Desta forma, e segundo Cordeiro e Demétrio (2008, p.112), para valores de p\_valor  $\chi^2$  menores que o nível de significância de  $\alpha=0,05$ , os ajustes podem ser julgados como razoáveis e suficientes.

Em se tratando do Pseudo  $R^2$ , segundo Hemmert, *et al.* (2018), este pode variar de 0 a 1, onde valores próximos de 0 indicam que o modelo tem um baixo poder explicativo e quando forem próximos de 1 indicam um perfeito ajuste do modelo. No entanto, quando o Pseudo  $R^2$  estiver entre 0,2 e 0,4, pode ser considerado um bom ajuste ou tolerável, e superiores a 0,4, um excelente ajuste do modelo (HEMMERT *et al.*, 2018).

Os diagnósticos dos Modelos de Regressão Logística Ordinal foram feitos por meio dos gráficos de resíduos escores e parciais, conforme a metodologia de Abreu, Siqueira e Caiaffa (2009). Além disso, foram gerados gráficos de curvas de chances proporcionais das variáveis dependentes: sensação, avaliação e preferência, em função das variáveis independentes significativas dos modelos ajustados.

No tocante aos diagnósticos dos Modelos de Regressão Beta, seguiu-se a metodologia adotada por Hosmer, Lemeshow e Sturdivant (2013), pela análise dos resíduos padronizados e pela verificação da adequação das funções. Para tanto, analisou-se os resíduos pela presença de pontos de influência inconsistentes e pela independência e normalidade, e verificou-se a adequação da função de distribuição, de variância e de ligação dos melhores modelos ajustados.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar os resultados e as análises dos dados levantados conforme a metodologia apresentada no Capítulo 3. Além de estar em conformidade com a metodologia supracitada, esta seção versa atender aos objetivos geral e específicos, pleiteados na seção introdutória.

Portanto, dividiu-se em duas subseções, a saber: resultado da estatística descritiva e modelagem do desempenho ecológico dos motoristas, em função das condições térmicas das cabines de ônibus.

### 4.1 Análise descritiva e estimativa dos parâmetros

Esta primeira subseção destina-se a contemplar os primeiros objetivos específicos da pesquisa, referentes à mensuração dos parâmetros ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e velocidade do ar) das cabines dos ônibus urbano, estimação dos parâmetros pessoais (taxa metabólica e isolamento térmico das vestimentas) dos motoristas e, por fim, discutir sobre a condições térmicas observadas.

#### 4.1.1 Estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais

A pesquisa de campo foi executada durante 60 dias e a amostra contemplada foi de 3 motoristas do sexo masculino, da linha disponibilizada, que vai do bairro Cristo Redentor ao terminal de integração, próximo à rodoviária de João Pessoa-PB. Ademais, realizou-se as medições ao longo de 3 viagens (2<sup>o</sup>, 4<sup>o</sup> e 5<sup>a</sup>) ao dia e, ao final de cada viagem, questionava-se aos motoristas sobre os seus votos de sensações, avaliações e preferências térmicas.

Dessa forma, ao todo, executaram-se 180 observações das condições térmicas das cabines dos motoristas e tabelaram-se 24 variáveis que foram levantadas e codificadas de acordo com o Quadro 11.

**Quadro 11 – Variáveis observadas e seus respectivos códigos**

Variável (dimensão)	Código
Dia (1 a 60)	dia
Motoristas (1, 2 e 3)	mot
Viagem (2, 4 e 5)	viag
Idade (anos)	id
Altura (m)	alt
Peso (kg)	peso
Turno (manhã=1 e tarde=2)	tur

Tempo de serviço na rota (anos)	tsr
Tempo de serviço na empresa (anos)	tse
Voto de sensação térmica (-3, -2, -1, 0, 1, 2 e 3)	vst
Voto de avaliação térmica (0, 1, 2 e 3)	vat
Voto de preferência térmica (+3, +2, +1, 0, -1, -2 e -3)	vpt
Voto de percepção da sensação térmica	vpst
Temperatura do ar externo (°C)	ta_ext
Umidade relativa do ar externo (%)	ur_ext
Isolamento térmico das vestimentas (clo)	lclo
Taxa metabólica (w/m <sup>2</sup> )	M
Temperatura do ar (°C)	ta
Velocidade do ar (m/s)	va
Temperatura de globo (°C)	tg
Umidade relativa do ar (%)	ur
Temperatura radiante média (°C)	trm
Temperatura equivalente (°C)	teq
<i>Predicted Mean Vote</i> (-3, -2, -1, 0, 1, 2 e 3)	pmv

Fonte: Autoria própria (2022)

No Quadro 11, é possível perceber todas as variáveis envolvidas no estudo das condições térmicas por esta pesquisa, como também suas respectivas dimensões e seus códigos, que foram assim tabelados para serem usados nos cálculos estatísticos. Dentre elas, nota-se as quatro mensuradas (ta, tg, va e ur) no interior das cabines dos motoristas, além das que foram estimadas ou calculadas (M, lclo trm, teq e PMV) e as que foram observadas nos questionários (mot, viag, vst, vat, vpt, vpst, id, alt, peso, tur, tse e tsr).

Para caracterizar o clima da cidade de João Pessoa – PB, referente aos dias de coleta, levantou-se informações da temperatura e umidade relativa do ar externo local (ta\_ext e ur\_ext) pelo *site* tempo.com. Portanto, a Tabela 2 expõe os valores das estatísticas descritivas dessas duas variáveis citadas.

**Tabela 2 – Estatística descritiva do clima de João Pessoa**

Variável	Média	Mediana	Valor mínimo	Valor máximo	Desvio padrão
Temperatura do ar externo (°C)	28,46	29,50	21,50	32,00	2,63
Umidade relativa do ar externo (%)	71,19	66,24	52,15	100,00	13,08

Fonte: Autoria própria (2022)

O clima de João Pessoa – PB, representado pelas variáveis presentes na Tabela 2, é referente aos dias e horários de levantamento dos dados dessa pesquisa durante os meses de setembro a dezembro do ano de 2021. Para esse período, a média da temperatura do ar foi próxima de 28° C e a umidade relativa média foi em torno de 71%, o que condiz com os valores indicados por De Azevedo *et al* (2017) para o período mencionado.

Localizada na região Nordeste do Brasil, mais precisamente no extremo oriente do Estado da Paraíba, João Pessoa tem um clima tropical úmido (tipo Am na classificação climática de Köppen-Geiger), com elevados índices de umidade relativa do ar e temperaturas médias anuais em torno de 26 °C durante todo o ano (DE AZEVEDO *et al*, 2017).

Para ilustrar o comportamento dessas duas variáveis ao longo do dia, a Gráfico 3 exibe os gráficos da temperatura do ar (a) e da umidade relativa do ar (b), da cidade onde se desenvolveu o estudo.

Na Gráfico 3, verifica-se o comportamento da “ta\_ext” e “ur\_ext” durante as 24h do dia 22/12/2021, em que foi o último dia de levantamento dos dados dessa pesquisa. É percebido que, na ilustração (a), a temperatura permanece em torno de 26°C e aparentemente constante até às 9h, a partir desse momento em diante, ela começa a aumentar chegando ao seu pico (31°C) entre 14h e 15h e, posteriormente, declina gradativamente até o final do dia.

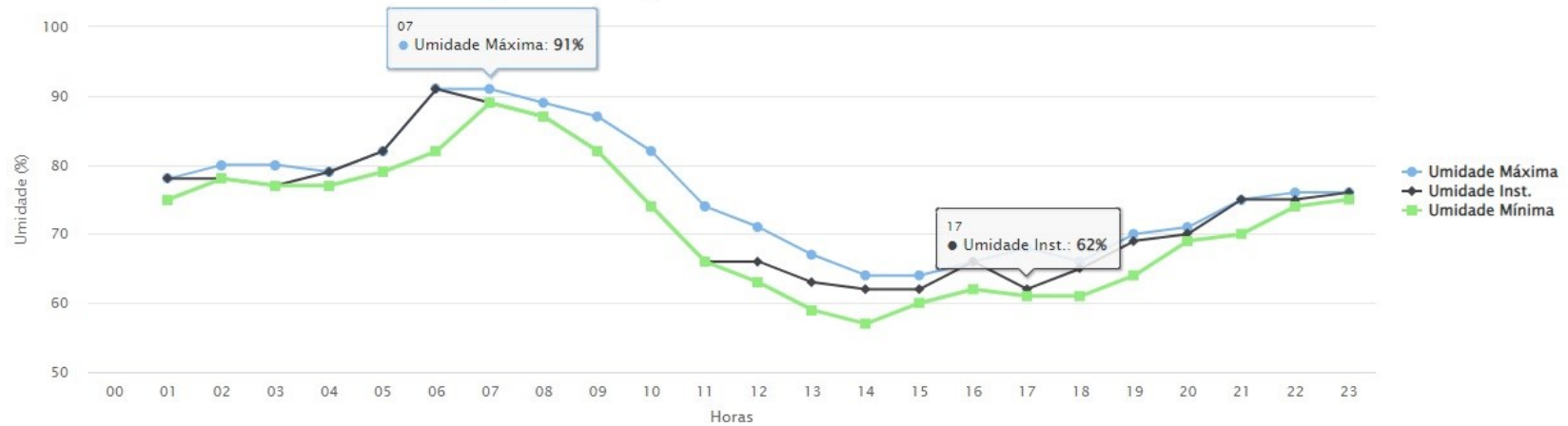
Ainda na Gráfico 3 e verificando a ilustração (b), o efeito contrário ao da “ta\_ext” é percebido no comportamento da “ur\_ext”, em que a umidade relativa permanece acima de 80% até às 10h e com seu pico de 91% entre 6h e 8h. A partir desse instante, ela começa a diminuir, permanecendo baixa com uma amplitude pequena durante a tarde e com seus menores valores (62%) registrados por volta das 13h às 17h.

Esses comportamentos podem ser observados similarmente durante todos os 60 dias da pesquisa, e podem ser consultados nos gráficos dessas variáveis, no histórico de previsão do tempo para João Pessoa-PB, do site tempo.com, de onde foi retirado os dados dessas variáveis para este estudo.

Gráfico 3 – Temperatura e umidade relativa do ar de João Pessoa



(a) Gráfico da temperatura do ar durante o dia 22/12/21



(b) Gráfico da umidade relativa do ar durante o dia 22/12/21

Fonte: INMET (2021)

As estatísticas descritivas das variáveis mensuradas (ta, va, tg e ur) e das calculadas (trm e teq), podem ser visualizadas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Estatísticas descritivas das variáveis mensuradas e calculadas**

Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura do ar (°C)	30,87	30,72	1,46	27,16	34,23
Velocidade do ar (m/s)	0,48	0,47	0,09	0,29	0,93
Temperatura de globo (°C)	31,30	31,15	1,63	27,46	34,67
Umidade relativa do ar (%)	59,89	60,12	6,56	42,77	77,90
Temperatura radiante média (°C)	31,89	31,73	1,87	27,90	35,87
Temperatura equivalente (°C)	30,42	30,21	1,90	25,90	34,31

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Verificando a média da temperatura do ar (ta) da Tabela 3 e comparando com a média da temperatura do ar externo (ta\_ext) da Tabela 2, pode-se inferir que as cabines dos motoristas de ônibus analisadas foram em média 2°C mais quente que as da cidade de João Pessoa-PB. No tocante à comparação da umidade relativa do ar das cabines dos motoristas com a do ambiente externo, pode-se inferir que as cabines apresentaram a umidade, em média, 21% mais secas que a do ambiente externo.

Observando a média geral na Tabela 3 e verificando os limites admissíveis deles, de acordo com a condição de conforto térmico da ISO 7730 (2005), é possível inferir que eles estão em conformidade com a norma citada.

De acordo com a ISO 7730 (2005), o índice *Predicted Mean Vote* (PMV) tem uma escala de 7 pontos, que varia de -3 a +3. No entanto, para valores entre -2 e +2, a norma citada limita os valores dos parâmetros ambientais nas seguintes faixas:  $10 \leq ta \leq 30$  em °C;  $0 \leq trm \leq 40$  em °C;  $0 \leq va \leq 1$  em m/s; e  $0 \leq UR \leq 70$  em %

Entretanto, é possível que os parâmetros extrapolem essas faixas fixadas pela norma ISO 7730 (2005), e o resultados do índice PMV alcancem os valores -3 e +3 da escala de 7 pontos, sem sair da zona de desconforto térmico. Esse fato foi encontrado em alguns casos nesta pesquisa, em que a temperatura do ar passou de 30 °C, ou a umidade relativa do ar superou os 70%, no entanto, os valores de PMV calculados foram no máximo de +3. Dessa forma, pode-se inferir que, com essas condições térmicas observadas, as cabines dos motoristas dos ônibus analisadas estão dentro do estado de desconforto térmico por calor.

Para simular o estresse térmico por calor, o Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de globo (IBUTG) foi calculado para as situações mais críticas

observadas. Dessa forma, a Tabela 4 traz os valores dessas medições mais críticas observadas, os quais apresentaram valores acima de 34°C da temperatura do ar.

**Tabela 4 – Dados mais extremos da condição térmica observada**

mot	ta (°C)	va (m/s)	tg (°C)	ur (%)	trm_c (°C)	tbu_c (°C)	IBUTG_c (°C)
3	34,23	0,44	34,57	44,01	35,03	24,31	27,39
3	34,04	0,45	34,34	45,31	35,66	24,44	27,53
3	34,19	0,44	34,47	46,43	35,98	24,80	27,75

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Tabela 4 expõe as três medições mais críticas observadas e seus respectivos índices de estresse térmico por calor. Calculou-se os índices de IBUTG\_c à luz da Equação 10, apresentada no Capítulo 2, para atividade desempenhada em ambiente interno sem o efeito da radiação solar.

Simulando um cenário mais pessimista possível com os valores IBUTG\_c=27,75°C da Tabela 4 e uma taxa metabólica de 125w/m<sup>2</sup>, extraída da tabela da ISO 8996 (2007) para a atividade de dirigir ônibus, e confrontando esses valores com os da IBUTG da ISO 7243 (2017) para pessoa aclimatada e não aclimatada (30°C e 29°C, respectivamente), a taxa metabólica admissível é 180w/m<sup>2</sup>. Sendo assim, observa-se que esses valores tabelados da ISO 7243 (2017) são superiores aos do cenário. Dessa forma, a atividade dos motoristas dessa linha não é insalubre do ponto de vista de estresse térmico, e que eles podem executar sua jornada de trabalho sem interrupções.

Verificando os quadros 1 e 2 do Anexo N°3 (Limite de Tolerância para Exposição ao Calor) de 2019, da Norma Regulamentadora 15 de 2020 (NR-15, 2020), pode-se dizer que a atividade do motorista observado na pesquisa é caracterizada como sentada e trabalho leve com braços e pernas (M=324w), tendo como limite permissível de IBUTG<sub>max</sub> de 27,8°C. Dessa forma, com o IBUTG\_c=27,75°C da Tabela 4, pode-se inferir que os valores estão dentro dos limites permissíveis da norma citada.

Conforme verificado, as condições térmicas observadas das cabines dos motoristas estão dentro da condição de desconforto térmico por calor. Para tanto, a pesquisa seguiu-se tendo por base as normas ISO 7730 (2005) e ISO 14505-2 (2006), e descartou-se a ISO 7243 (2017).

Os dados das estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais das cabines dos motoristas estratificados por viagem e por motorista, estão na Tabelas 5.



**Tabela 5 – Estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais por viagem e motorista**

Viagem	Motorista	Estatísticas	ta (°C)	trm (°C)	va (m/s)	ur (%)
viag2	Motorista 1	Média	31,38	32,60	0,43	58,12
		Mediana	31,51	32,69	0,45	58,18
		Valor mínimo	29,87	30,95	<b>0,31</b>	53,34
		Valor máximo	32,70	33,55	0,51	67,01
		Desvio padrão	0,67	0,63	0,06	3,28
	Motorista 2	Média	30,33	31,08	0,45	64,29
		Mediana	30,32	31,11	0,44	62,75
		Valor mínimo	28,18	28,72	0,36	57,03
		Valor máximo	31,45	32,39	0,68	<b>77,90</b>
		Desvio padrão	0,90	0,97	0,06	5,63
	Motorista 3	Média	<b>33,24</b>	<b>34,84</b>	0,47	<b>49,67</b>
		Mediana	33,51	35,10	0,47	49,55
		Valor mínimo	31,65	33,29	0,42	<b>42,77</b>
		Valor máximo	<b>34,23</b>	<b>35,87</b>	0,62	56,08
		Desvio padrão	0,77	0,81	0,05	3,44
viag4	Motorista 1	Média	31,51	33,03	0,46	56,42
		Mediana	31,53	33,08	0,44	56,54
		Valor mínimo	28,22	29,23	0,29	52,40
		Valor máximo	33,13	35,19	0,91	68,18
		Desvio padrão	1,13	1,43	0,12	3,52
	Motorista 2	Média	31,97	33,57	0,46	56,19
		Mediana	32,29	33,93	0,45	54,78
		Valor mínimo	29,09	30,47	0,33	46,79
		Valor máximo	33,48	35,41	0,73	76,44
		Desvio padrão	1,11	1,41	0,07	6,34
	Motorista 3	Média	29,89	30,50	0,53	62,87
		Mediana	29,97	30,68	0,50	63,28
		Valor mínimo	28,79	29,22	0,42	49,00
		Valor máximo	30,60	31,44	0,74	67,91
		Desvio padrão	0,47	0,52	0,09	4,12
viag5	Motorista 1	Média	30,04	30,57	0,48	63,01
		Mediana	30,20	30,79	0,48	62,27
		Valor mínimo	<b>27,16</b>	<b>27,90</b>	0,37	57,58
		Valor máximo	30,97	31,83	0,54	74,10
		Desvio padrão	0,80	0,88	0,05	3,16
	Motorista 2	Média	30,46	31,33	0,47	61,35
		Mediana	30,69	31,73	0,46	60,40
		Valor mínimo	27,86	28,65	0,39	54,94
		Valor máximo	31,37	32,34	0,69	75,18
		Desvio padrão	0,84	1,03	0,06	4,56
	Motorista 3	Média	<b>28,99</b>	<b>29,52</b>	0,54	<b>67,07</b>
		Mediana	29,22	29,64	0,49	66,69
		Valor mínimo	27,63	28,45	0,43	59,73
		Valor máximo	29,73	30,19	<b>0,93</b>	75,44
		Desvio padrão	0,58	0,50	0,13	3,75

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Na 2ª viagem da Tabela 5, o motorista 3 sofreu com as maiores médias das temperaturas ( $\bar{X}_{ta} = 33,24^{\circ}\text{C}$  e  $\bar{X}_{trm} = 34,84^{\circ}\text{C}$ ), assim como os valores máximos desses parâmetros ( $ta_{\max} = 34,23^{\circ}\text{C}$  e  $trm_{\max} = 35,87^{\circ}\text{C}$ ) entre as viagens, quando comparado aos outros condutores. Nessa mesma viagem e com o motorista 3, foi

registrada a menor média  $\bar{X}_{ur}=49,67\%$  e o menor valor  $ur_{\min}=42,77\%$  para a umidade relativa.

No entanto, o motorista 3 se beneficiou dos menores valores das médias de “ta” e “trm” ( $\bar{X}_{ta} = 28,99^{\circ}C$  e  $\bar{X}_{trm} = 29,52^{\circ}C$ ) que foram registrados na 5ª viagem. Porém, os valores mínimos desses parâmetros foram observados no motorista 1 e na viagem de número 5, com  $ta_{\min}=27,16^{\circ}C$  e  $trm_{\min}=27,90^{\circ}C$ .

A média mais alta da umidade relativa do ar foi  $\bar{X}_{ur} = 67,07\%$ , registrada na 5ª viagem com o motorista 3. Entretanto, o valor máximo desse parâmetro foi medido na 2ª viagem com o condutor 2, cujo valor foi  $ur_{\max}=77,90\%$ .

As médias da velocidade do ar na 2ª viagem foram bem homogêneas, com um desvio padrão de 0,02m/s entre elas, assim como as das outras duas viagens para os motoristas 1 e 2. Contudo, as médias mais discrepantes de “va” ocorreram com o motorista 3, nas 4ª e 5ª viagens, com 0,53 m/s e 0,54 m/s, respectivamente, em comparação com as dos outros condutores. O menor valor desse parâmetro foi de  $va_{\min}=0,31m/s$  com o motorista 1, na volta de número 2, e o maior valor foi de  $va_{\max}=0,93m/s$ , registrado na volta 5, com o condutor 3.

Os valores das estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais por motorista estão na Tabela 6.

**Tabela 6 – Estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais por motorista**

Motorista	Estatísticas	ta (°C)	trm (°C)	va (m/s)	ur (%)
Motorista 1	Média	30,98	32,07	0,46	59,18
	Mediana	31,03	32,29	0,46	58,44
	Valor mínimo	<b>27,16</b>	<b>27,90</b>	<b>0,29</b>	52,40
	Valor máximo	33,13	35,19	0,91	74,10
	Desvio padrão	1,10	1,48	0,08	4,31
Motorista 2	Média	30,92	31,99	0,46	60,61
	Mediana	30,84	31,77	0,45	60,05
	Valor mínimo	27,86	28,65	0,33	46,79
	Valor máximo	33,44	35,41	0,73	<b>77,90</b>
	Desvio padrão	1,20	1,60	0,08	6,42
Motorista 3	Média	30,70	31,62	0,52	59,87
	Mediana	29,97	30,68	0,48	62,93
	Valor mínimo	27,63	28,45	0,42	<b>42,77</b>
	Valor máximo	<b>34,23</b>	<b>35,87</b>	<b>0,93</b>	75,44
	Desvio padrão	1,94	2,46	0,10	8,06

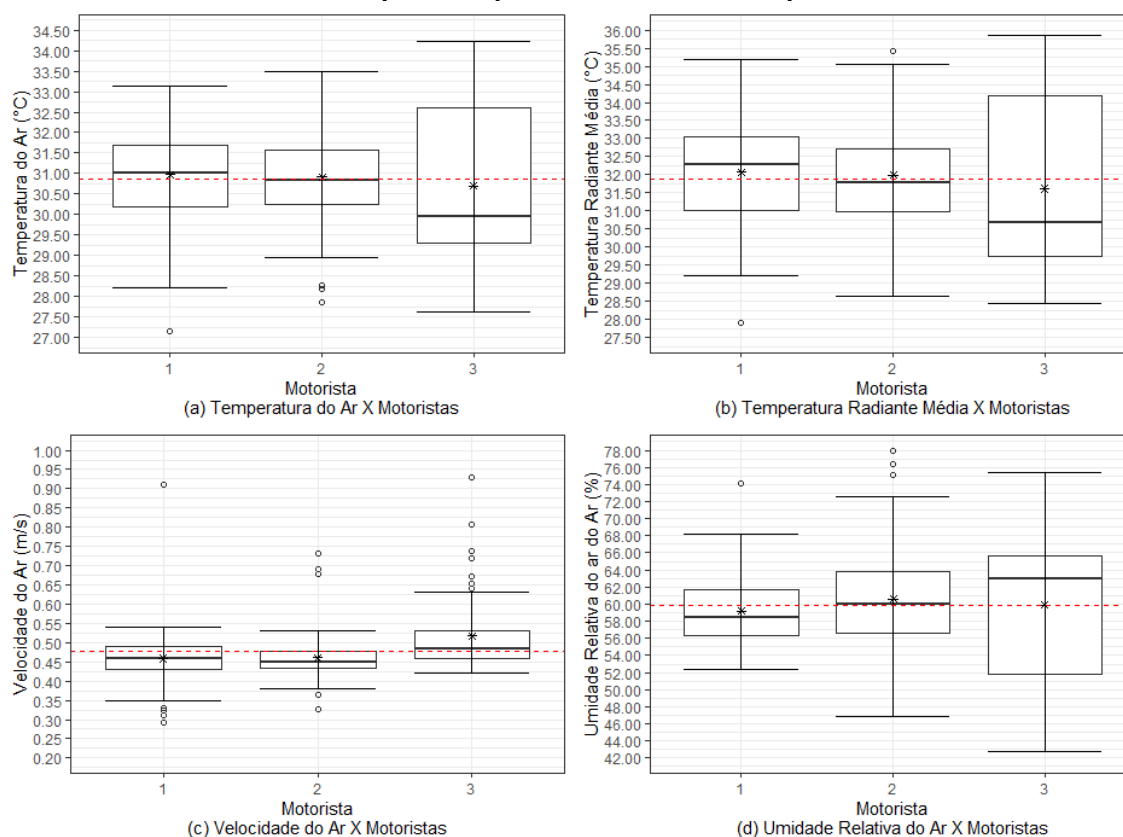
**Fonte: Autoria própria (2022)**

Nota-se na Tabela 6 que as médias dos parâmetros ambientais foram bem homogêneas entre a amostra selecionada. Vale destacar na tabela citada que o motorista 1 se beneficiou com os menores valores de “ta”, “trm” e “va”, assim como o

condutor 3 se beneficiou com o menor valor da umidade relativa do ar. No entanto, foi o motorista 3 que sofreu com os maiores valores de “ta”, “trm” e “va”, e o maior valor mensurado da “ur” foi registrado com o condutor 2.

Com o intuito de expor essas informações mencionadas da Tabela 6 de forma visual, plotaram-se gráficos que comparam cada parâmetro ambiental com relação aos motoristas, e estão exibidos no Gráfico 4.

**Gráfico 4 – Boxplot dos parâmetros ambientais por motorista**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O Gráfico 4 exibe os *boxplots* de “ta”, “trm”, “va” e “ur”, levando em consideração a amostra selecionada, assim como as médias gerais (representadas pelas linhas horizontais tracejadas em vermelho) de cada um desses parâmetros mencionados na Tabela 3, e as médias mensuradas por cada motorista, representadas por \*, e que foram apresentadas na Tabela 9.

Nota-se nas ilustrações (a), (b) e (d) do Gráfico 4, que o condutor 3 estava sujeito à uma amplitude maior da temperatura do ar, temperatura radiante média e umidade relativa respectivamente, corroborando com o que foi comentado sobre as medidas estatísticas da Tabela 5.

Também é possível visualizar na ilustração (c) do Gráfico 4 que o condutor 3 se beneficiou com as mais altas velocidades do ar e que o motorista 1 sofreu com os valores mais baixos desse parâmetro ambiental, corroborando mais uma vez com o que foi apontado na Tabela 5.

No geral, os *boxplots* do Gráfico 4 apontam indícios de que as médias dos parâmetros são iguais entre os motoristas e que podem ser consideradas homogêneas, como foi inferido na Tabela 6.

Os valores das estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais para cada viagem estão expostos na Tabela 7.

**Tabela 7 – Estatísticas descritivas dos parâmetros ambientais por viagem**

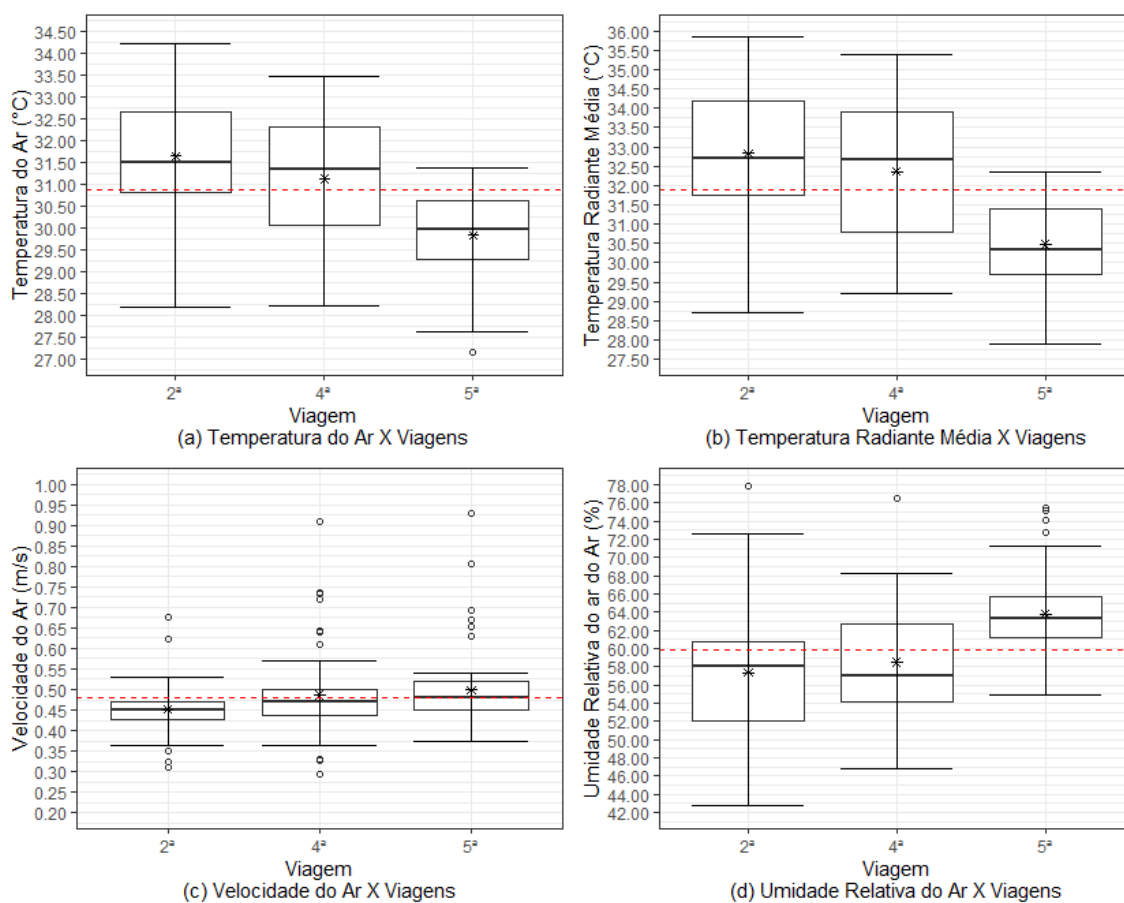
Viagem	Estatísticas	ta (°C)	trm (°C)	va (m/s)	ur (%)
2ª Viagem	Média	31,65	32,87	0,45	57,54
	Mediana	31,51	32,69	0,45	58,02
	Valor mínimo	28,18	28,72	0,31	<b>42,77</b>
	Valor máximo	<b>34,23</b>	<b>35,95</b>	0,68	<b>77,90</b>
	Desvio padrão	1,44	1,79	0,06	<b>7,08</b>
4ª Viagem	Média	31,12	32,37	0,47	58,50
	Mediana	31,33	32,66	0,47	57,06
	Valor mínimo	28,22	29,22	<b>0,29</b>	46,79
	Valor máximo	33,48	35,41	0,91	76,44
	Desvio padrão	1,30	1,79	0,10	5,67
5ª Viagem	Média	29,83	30,47	0,50	63,81
	Mediana	29,98	30,34	0,48	63,29
	Valor mínimo	<b>27,16</b>	<b>27,90</b>	0,37	54,94
	Valor máximo	31,37	32,34	<b>0,93</b>	75,44
	Desvio padrão	0,97	1,11	0,09	4,51

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Os valores das médias dos parâmetros “ta”, “trm”, e “ur”, apontadas na Tabela 7 da 5ª viagem, são bem distintos dos valores da 2ª e 4ª. No entanto, “va” tem médias praticamente homogêneas entre as três viagens.

Ainda na tabela citada, percebe-se também que as menores médias e os menores valores de “ta” e “trm” foram registradas na 5ª viagem e o efeito contrário pode ser percebido na viagem de número 2 para os mesmos parâmetros. Já os valores máximos e mínimos mais discrepantes podem ser visualizados na umidade relativa do ar na 2ª viagem, em comparação com as outras viagens, devido ao valor mais alto do desvio padrão desse parâmetro.

Os comportamentos dos parâmetros ambientais por viagem podem ser visualizados no Gráfico 5.

Gráfico 5 – *Boxplot* dos parâmetros ambientais por viagem

Fonte: Autoria própria (2022)

O Gráfico 5 exibe os *boxplot* de “ta”, “va”, “ur” e “trm”, levando em consideração as viagens selecionadas para a medição, assim como as médias gerais (representadas pelas linhas horizontais tracejadas em vermelho) de cada um desses parâmetros mencionadas na Tabela 3, e as médias mensuradas por cada viagem, representadas por \*, e que foram apresentadas na Tabela 6.

É possível observar nas ilustrações (a) e (b) que a 5ª viagem foi a mais amena com relação aos parâmetros “ta” e “trm”, em comparação com as demais viagens. Em contrapartida, foi nessa viagem que, no geral, a umidade relativa do ar apresentou os valores mais altos possíveis apontados na ilustração (d), e na ilustração (c) observa-se o comportamento similar da velocidade do ar entres as viagens, com alguns pontos distantes do normal, corroborando com as observações feitas das Tabelas 5 e 7.

No geral, os *boxplots* do Gráfico 5 assinalam indícios de que as médias de “ta”, “trm” e “ur” não podem ser consideradas iguais entre as viagens e, em

contrapartida, há indícios de que as médias do parâmetro “va” das viagens são homogêneas, como foi inferido da Tabela 7.

Esses fatos devem-se, em parte, aos horários das medições de suas viagens, que estão presentes na Tabela 8.

**Tabela 8 – Horários das medições das viagens por motoristas**

Motorista	Viagens			Medição			
	Volta	Início	Fim	Tempo	Início	Fim	Tempo
Motorista 1	2	07:10	08:30	1h20min	07:30	08:20	50min
	4	15:00	16:25	1h25min	15:20	16:10	50min
	5	16:25	17:40	1h15min	16:45	17:35	50min
Motorista 2	2	06:50	08:05	1h15min	07:10	08:00	50min
	4	14:30	16:00	1h30min	14:50	15:40	50min
	5	16:00	17:15	1h:15min	16:20	17:10	50min
Motorista 3	2	11:15	12:30	1h15min	11:35	12:25	50min
	4	16:50	18:20	1h30min	17:10	18:00	50min
	5	18:20	19:40	1h20min	18:40	19:30	50min

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Na Tabela 8, é possível verificar que, para cada motorista foram selecionadas as viagens 2, 4 e 5, das seis executadas por eles ao decorrer do dia. Nota-se também que, o tempo total de cada medição difere dos tempos das viagens, pois, os 20min de cada viagem eram descartados, devido ao período de aclimatação ao ambiente e, a partir desse instante, as medições se iniciavam com uma duração igual para todos os condutores, de 50min.

Ainda de acordo com a Tabela 8, o horário da medição da volta de número 2 do motorista 3 era de 11h35min às 12h25min, o que pode explicar as mais altas temperaturas do ar e raiantes médias, em relação as temperaturas mensuradas dos outros condutores, assim como o valor mais baixo da umidade relativa em comparação com os demais. Em contrapartida, as outras duas medições do motorista 3, iniciavam-se ao final das tardes e início das noites, período em que as temperaturas estavam declinando e a umidade relativa começava a aumentar, conforme os comportamentos das variáveis “ta\_ext” e “ur\_ext”, apresentados nas ilustrações (a) e (b) do Gráfico 3, e informadas na Tabela 5.

Observado os horários dos condutores 1 e 2 na Tabela 8, cujos inícios das viagens eram bem próximos umas das outras, observa-se que eles apresentaram um perfil similar dos parâmetros “ta” e “trm”, nas ilustrações (a) e (b) do Gráfico 4.

Conhecido os parâmetros ambientais das cabines dos motoristas de ônibus, que são quatro ( $t_a$ ,  $v_a$ ,  $u_r$  e  $t_{rm}$ ), dos seis parâmetros exigidos como entradas do modelo de conforto térmico PMV-PPD, da ISO 7730 (2005), a pesquisa seguiu-se com a estimativa dos outros dois, conhecidos como pessoais e referentes ao isolamento térmico das vestimentas ( $I_{clo}$ ) e a taxa metabólica ( $M$ ) dos três condutores.

#### 4.1.2 Estimativa dos parâmetros pessoais

O primeiro parâmetro pessoal a ser estimado foi o “ $I_{clo}$ ”, que se tratava do fardamento dos motoristas e do assento dos ônibus. No caso desta pesquisa, o isolamento das vestimentas foi levantado por meio do questionário, e todas as peças de roupas dos três condutores estão presentes na Tabela 9.

**Tabela 9 – Vestimenta típica dos motoristas de ônibus**

<b>Vestimenta</b>	<b>Valor (clo)</b>
Cueca	0,03
Meias	0,02
Camisa interna	0,09
Camisa mangas curtas de botão	0,15
Calça fina	0,20
Sapatos (sola fina)	0,02
Assento	0,25
<b>Total</b>	<b>0,76</b>

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Tabela 9 expõe todas as vestimentas levantadas, além do assento dos motoristas dos ônibus. No entanto, a vestimenta camisa interna só era utilizada pelos condutores 2 e 3. As demais peças fazem parte do fardamento disponibilizado pela empresa, e são usadas pelos três motoristas. Dessa forma, o isolamento térmico da vestimenta de Motorista 1 difere do total apresentado pela Tabela 9, e foi estimado em 0,67clo.

Nota-se na tabela citada que o assento do ônibus foi estimado no valor de 0,25clo. Segundo a ISO 9920 (2007), existem fatores que podem influenciar para mais ou para menos o valor do isolamento da vestimenta. Para a ISO citada, um assento de veículo não ventilado, incrementa 0,25clo no valor final do isolamento da vestimenta, o que foi seguido por esta pesquisa.

Tendo estimado o valor do primeiro parâmetro pessoal, a pesquisa seguiu com a estimativa do outro parâmetro que diz respeito ao metabolismo dos condutores. Dessa forma, a Tabela 10 apresenta os dados utilizados nos cálculos dos testes estatísticos para identificar qual o modelo que apresenta o melhor ajuste para a estimativa da taxa metabólica e que foi utilizado para calcular o valor desse parâmetro para cada motorista.

**Tabela 10 – Amostra para estimar o modelo da taxa metabólica**

<b>Amostra</b>	<b>Idade</b>	<b>Peso</b>	<b>Altura</b>	<b>Adu</b>	<b>M_ISO</b>	<b>M_x</b>	<b>M</b>
1	36	86,6	168	1,96	72,28	75,15	73,05
2	42	73	170	1,84	65,92	73,60	68,52
3	19	81	180	2,01	80,73	65,24	74,65
4	22	71	174	1,85	56,77	63,43	68,87
5	20	78	178	1,96	62,56	64,75	72,87
6	23	67	180	1,85	60,94	62,61	68,87
7	48	60	170	1,69	77,85	72,24	63,04
8	22	73	185	1,96	70,4	64,08	72,85
9	29	61	165	1,67	45,02	63,52	62,13
10	20	78	178	1,96	60,49	64,75	72,87
11	32	71	175	1,86	75,97	68,19	69,16
12	33	46	151	1,39	67,59	60,57	51,67
13	42	56	177	1,69	65,3	68,09	63,04
14	19	62	168	1,70	62,87	59,09	63,38
15	25	61	163	1,66	61,73	61,62	61,58
16	24	70	185	1,92	65,8	64,06	71,57
17	39	64	159	1,66	64,94	69,25	61,73
18	24	50	152	1,45	58,61	57,58	53,80
19	27	50	163	1,52	62,12	59,01	56,59
20	40	90	180	2,10	77	78,15	78,07
21	45	91	177	2,08	83,87	80,86	77,49
22	32	70	174	1,84	61,61	67,87	68,46
23	23	52	159	1,52	50,69	57,75	56,51
24	29	60	165	1,66	60,4	63,20	61,69
25	30	58	170	1,67	70,16	63,03	62,14
26	28	69	153	1,67	70,8	65,64	61,98
27	26	51	165	1,55	54,15	58,85	57,58
28	42	57	158	1,57	74,19	68,41	58,49
29	18	62	176	1,76	52,98	58,61	65,56
30	20	54	157	1,53	59,7	56,97	56,90

**Fonte: Adaptado de Xavier (2000)**

A Tabela 10 apresenta os dados relevantes das 30 amostras utilizadas por Xavier (2000) para testar o modelo da taxa metabólica ( $M_x$ ) utilizada por ele. Além disso, inseriu-se a última coluna, cujos valores foram estimados pelo modelo “M”, determinado pela Equação 13 da seção metodológica deste estudo.

Para selecionar o modelo que estimou a taxa metabólica, foi levado em consideração os dados gerados pelos modelos propostos ( $M_x$  e M), e comparados com o da metodologia da ISO 8996 (1990), representados na Tabela 10 como “M\_ISO”. Essa seleção foi por meio dos testes F–Snedecora e T–Student. No



entanto, foi averiguado se os dados gerados por “M\_x” e “M” vêm de uma distribuição normal e se as variâncias são homogêneas, por meio dos testes de normalidade e homoscedasticidade.

Contudo, a Tabela 11 apresenta os resultados dos testes de normalidades, homoscedasticidade, F–Snedecora e T–Student.

**Tabela 11 – Resultados dos testes estatísticos aplicados em M\_x e M**

Modelo	Teste de normalidade					Bartlett	Teste F	Teste T
	Lilliefors	Cramér V. M.	Shapiro Wilk	Shapiro Francia	Kolmogorov Smirnov			
M_x	0,15	0,10	0,05	0,06	0,61	0,04	0,04	0,96
M	0,19	0,20	0,41	0,54	0,67	0,20	0,20	0,98

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Na Tabela 11, os valores dos testes de normalidade foram maiores ou igual ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , ou seja, com 95% de confiança, pode-se inferir que os dados oriundos dos modelos “M\_x” e “M” são normalmente distribuídos.

Observa-se nos testes F e Bartlett que os valores “M\_x” não satisfizeram os testes indicados, pois foram menores que o nível de significância  $\alpha=0,05$ , ou seja, com 95% de confiança, esse modelo não apresenta variância homogênea com relação aos valores do “M\_ISO”. Logo, o modelo “M”, da Equação 13, proposta na seção metodológica, foi considerado o melhor ajustado para estimar a taxa metabólica dos motoristas de ônibus, visto que ele foi o único que passou em todos os testes da Tabela 11.

Diante disso, a Tabela 12 exibe os valores estimados das taxas metabólicas utilizadas nesta pesquisa.

**Tabela 12 – Valores das taxas metabólicas dos motoristas desta pesquisa**

Motorista	Taxa Metabólica (W/m <sup>2</sup> )
Motorista padrão	75
Motorista 1	87,28
Motorista 2	79,31
Motorista 3	69,55

**Nota: Motorista padrão é do sexo masculino com 1,70m de altura, 70kg de peso e 35 anos.**

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Observa-se na Tabela 12 que, além dos metabolismos estimados da amostra dos motoristas, está presente uma estimativa de um motorista padrão retirado da tabela B.1 da ISO 8996 (1990). Esse valor retirado da norma citada, serviu de entrada no modelo “M” supracitado, e que resultou nos valores do metabolismo estimado de cada condutor.

Os valores dos parâmetros pessoais, estimados nessa subseção, e dos ambientais, expostos na subseção 4.1, serviram de entrada para a análise dos votos subjetivos e dos cálculos dos índices *Predicted Mean Vote* (PMV) e temperatura equivalente. Dessa forma, as subseções seguintes estão destinadas a identificar quais desses parâmetros influenciaram na decisão dos motoristas na hora de responder sobre os votos de sensação, avaliação e preferência térmica.

## 4.2 Análise dos votos subjetivos dos motoristas

Esta subseção destina-se a contemplar o objetivo específico referente às análises dos votos subjetivos dos motoristas de ônibus, coletados por meio do questionário via entrevista direta, ao final de cada viagem, das 180 observadas. Trata-se dos votos de sensação térmica (vst), votos de avaliação térmica (vat) e votos de preferência térmica (vpt) dos três condutores.

Foi exposto no Capítulo 2, que o modelo PMV-PPD de Fanger, presente nas normas internacionais ISO 7730 (2005) e ASHRAE – 55 (2017), é matematicamente expresso por 6 variáveis, as quais foram chamadas de parâmetros, e divididas em ambientais e pessoais. Dessa forma, essas mesmas variáveis foram modeladas para inferir quais delas influenciaram nas respostas subjetivas dos motoristas com relação aos votos de “vst”, “vat” e “vpt” citados.

Contudo, observa-se que esses votos são variáveis dependentes, de natureza categórica ordinal e, na análise desse tipo de variável, é comumente utilizado o modelo de Regressão Logística Ordinal Harrell (2015). Na construção desse tipo de modelo, por meio da metodologia de Modelos Lineares Generalizados, e com auxílio do *software* R Studio, ele pode ser ajustado pela função “lrm”.

A modelagem de Regressão Logística Ordinal, também chamada de chances proporcionais, exige que o conjunto de dados indicado, satisfaça 4 pressupostos, são eles: que a variável dependente seja categórica e ordinal; que as observações sejam independentes; que haja ausência de correlação entre as variáveis independentes e que as chances sejam proporcionais (HARRELL, 2015). Segundo Williams (2006), o problema-chave dos modelos de chances proporcionais está na violação de seus pressupostos, que devem ser testados antes da modelagem.

Entretanto, os dois primeiros pressupostos foram satisfeitos, visto que as variáveis dependentes “vst”, “vat” e “vpt” são de natureza categórica e ordinal, e as observações feitas são independentes e mensuradas em condições particulares. Com isso, a exigência de ausência de correlação das variáveis independentes foi verificada por meio do teste de correlação de Spearman e o resultado está presente na Tabela 13.

**Tabela 13 – Matriz de correlação dos parâmetros do conforto térmico**

Parâmetros	Parâmetros					
	ta	trm	va	ur	lclo	M
ta	1,00	<b>0,97</b>	-0,26	<b>-0,85</b>	-0,11	0,17
trm	<b>0,97</b>	1,00	-0,27	<b>-0,85</b>	-0,11	0,17
va	-0,26	-0,27	1,00	0,10	0,12	-0,27
ur	<b>-0,85</b>	<b>-0,85</b>	0,10	1,00	0,11	-0,11
lclo	-0,11	-0,11	0,12	0,11	1,00	<b>-0,87</b>
M	0,17	0,17	-0,27	-0,11	<b>-0,87</b>	1,00

**Fonte: A autoria própria (2022)**

Atentando à Tabela 13, verifica-se a existência de dois grupos de variáveis que se correlacionam fortemente entre si.

O primeiro grupo é formado pelos parâmetros “ta”, “trm” e “ur” e, o segundo, pelos “lclo” e “M”. Devido à essa correlação forte entre as variáveis que compõem os grupos, não é conveniente gerar um único modelo com todas as variáveis juntas.

Portanto, a Equação 14 expõe o modelo genérico dos votos subjetivos, em função dos parâmetros do conforto térmico, para fins de ajustes posteriores.

$$mlo_i = lrm(Y \sim A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_NX_N, data = x) \quad (14)$$

onde,

mloi = modelos dos votos subjetivos em função dos parâmetros,  $\forall i=1, 2, \dots$  e 6;

lrm = função do modelo de Regressão Logístico Ordinal da metodologia de Modelos Lineares Generalizados

Y = votos de sensação, avaliação e preferência térmica;

$X_N$  = parâmetros do conforto térmico,  $\forall N=1, 2$  e 3;

$A_N$  = coeficientes dos parâmetros,  $\forall N=1, 2$  e 3

Nota-se na Equação 14 que os votos de sensação, avaliação e preferência térmica representados por “Y” foram modelados em função da combinação de, no máximo, 3 parâmetros do conforto térmico ( $X_N$ ). Neste caso, geraram-se 6 modelos

distintos para cada voto subjetivo, visto que as variáveis com correlação forte entre elas não poderiam permanecer no mesmo modelo, conforme a Tabela 13.

Os resultados dos ajustes dos modelos dos votos de sensação, avaliação ou preferência térmica foram explorados nas subseções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3, respectivamente, assim como o pressuposto de chances proporcionais dos modelos ajustados e as análises dos ajustes.

Segundo Abreu, Siqueira e Caiaffa (2009), todo e qualquer modelo de regressão deve passar por uma verificação da qualidade do ajuste, pois um modelo mal ajustado pode levar a viés de estimação dos efeitos. Para a Regressão Logística Ordinal não é diferente, no entanto, são poucos os métodos, e esses métodos, normalmente, são os testes de Pearson ou *deviance*, além das análises gráficas dos resíduos escores e parciais (ABREU; SIQUEIRA; CAIAFFA, 2009).

No gráfico de resíduos escores, é testado a hipótese de proporcionalidade, e, caso seja verdadeira, espera-se uma tendência horizontal e constante do comportamento das categorias para cada variável independente significativa do modelo. Além disso, as médias de cada categoria devem estar próximas de zero, em relação aos eixos das variáveis independentes (ABREU; SIQUEIRA; CAIAFFA, 2009).

No tocante à análise gráfica dos resíduos parciais, é frequentemente verificado o comportamento linear e paralelo das categorias, em virtude de cada variável independente dos modelos ajustados (ABREU; SIQUEIRA; CAIAFFA, 2009).

#### 4.2.1 Voto de sensação térmica

Os primeiros dados subjetivos a serem analisados foram os votos de sensação térmica que estão dentro de uma escala de 7 pontos, podendo ser escolhido uma única opção dos valores de -3, -2, -1, 0, +1, +2 e +3, e que corresponde às classes sensação térmica: “muito frio”, “frio”, “levemente com frio”, “neutro”, “levemente com calor”, “calor” e “muito calor”, respectivamente.

Diante disso, a Tabela 14 apresenta o quantitativo dos votos de sensação térmica apontados pela amostra de motorista desta pesquisa.

**Tabela 14– Quantitativo dos votos de sensação térmica**

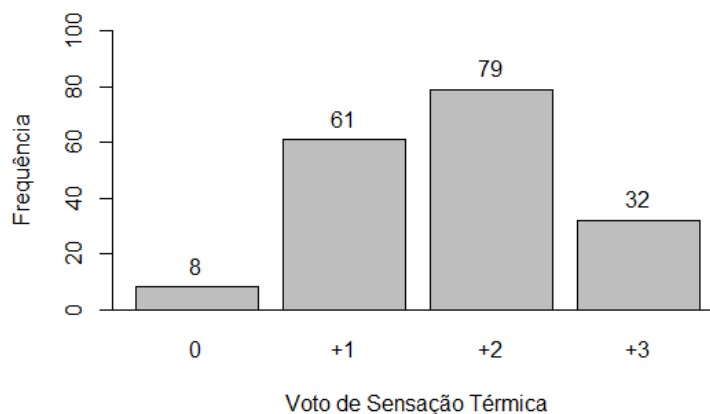
Variáveis	Voto de sensação térmica			
	Neutro	Levemente com calor	Calor	Muito calor
Geral	8	61	79	32
2ª viagem	3	7	33	17
4ª viagem	1	18	27	14
5ª viagem	4	36	19	1
Motorista 1 (viag 2)	-	2	13	5
Motorista 1 (viag 4)	1	6	7	6
Motorista 1 (viag 5)	1	10	9	-
Motorista 2 (viag 2)	3	3	13	1
Motorista 2 (viag 4)	-	3	10	7
Motorista 2 (viag 5)	-	12	7	1
Motorista 3 (viag 2)	-	2	7	11
Motorista 3 (viag 4)	-	9	10	1
Motorista 3 (viag 5)	3	14	3	-

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Tabela 14 exibe os dados dos votos da sensação térmica, os quais, no geral, indicam que os ambientes das cabines dos motoristas de ônibus analisados, estão dentro da escala de desconforto térmico por calor, com predominância dos votos de “calor” a “levemente com calor”, devido à maior frequência de ocorrência. Nota-se também que das 180 observações, 8 votos foram assinalados como “neutro”, e não houve voto na escala negativa, descartando o desconforto térmico por frio.

Ainda de acordo com a Tabela 14, a 5ª viagem pode ser classificada como a mais amena, dentre as três analisadas, com predominância de votos em “levemente com calor”, e com 4 votos “neutros”, dos 8 no geral. Em lado oposto, está a viagem de número 2 com uma concentração maior dos votos na escala de “calor”, e bem similar à 2ª, está a 4ª, com uma frequência maior da sensação térmica, também, na escala “calor”. Porém, a viagem de número 2 tem 3 votos contra 1 da 4ª viagem, no item de neutralidade, o que pode favorecê-la.

Os votos subjetivos da amostra de motoristas de ônibus, quanto à sensação térmica, podem ser visualizados no Gráfico 6.

**Gráfico 6 – Frequência dos votos de sensação térmica**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Tendo em vista a frequência de votos da sensação térmica dos motoristas de ônibus apresentado no Gráfico 6, e as condições ambientais e pessoais, relatadas na seção 4.1, pode-se inferir que os ambientes de trabalho dos motoristas analisados, podem ser caracterizados como desconforto térmico por calor e com uma frequência maior dos votos assinalados entre “calor” (+2) e “levemente com calor” (+1) dentro da escala de 7 pontos da ISO 7730 (2005) e ASHRAE – 55 (2017). Esse resultado corrobora com o resultado da Tabela 17.

A Tabela 15 expõe os modelos ajustados dos votos de sensação térmica, com suas respectivas variáveis significativas e as classes escolhidas pelos motoristas. Além disso, verifica-se também os coeficientes das variáveis e das classes, e os resultados dos testes estatísticos executados.

**Tabela 15 – Modelos ajustados do voto de sensação térmica**

Modelo	Variável	Coefficiente	p_valor Z	p_valor $\chi^2$	Pseudo R <sup>2</sup>
mlo1	ta	1,8679	0,0001	0,0001	0,669
	y $\geq$ 1	-52,2284	0,0001		
	y $\geq$ 2	-56,5965	0,0001		
	y $\geq$ 3	-60,7520	0,0001		
mlo3	trm	1,2044	0,0001	0,0001	0,584
	y $\geq$ 1	-33,7401	0,0001		
	y $\geq$ 2	-37,4293	0,0001		
	y $\geq$ 3	-41,1563	0,0001		
mlo5	ur	-0,2486	0,0001	0,0001	0,466
	va	-6,2686	0,0004		
	y $\geq$ 1	22,1833	0,0001		
	y $\geq$ 2	18,6116	0,0001		
	y $\geq$ 3	15,6581	0,0001		

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Observa-se na Tabela 15, os três modelos que restaram após os ajustes dos seis, gerados inicialmente para o voto de sensação térmica. Essa redução do

número de modelos, se deu pelo fato de que os modelos “mlo1” e “mlo2”, quando ajustados, resultaram em modelos com variáveis iguais. O mesmo ocorreu entre “mlo3” e “mlo4”, e com “mlo5” e “mlo6”.

Atentando para os valores dos testes de Wald ( $p\_valor$  Z) das classes da sensação térmica ( $y \geq 1$ ,  $y \geq 2$  e  $y \geq 3$ ) e os parâmetros ambientais ( $t_a$ ,  $t_{rm}$ ,  $u_r$  e  $v_a$ ), verifica-se que foram menores do que no nível de significância  $\alpha=0,05$ , indicando que eles são parâmetros significativos, de acordo com a Tabela 15. Além disso, como os coeficientes de ‘ $t_a$ ’ e “ $t_{rm}$ ” foram positivos, isso indica que há uma tendência de que o voto de sensação térmica dos motoristas aumente com o aumento desses parâmetros citados, e a sensação reduza com o aumento da “ $u_r$ ” e de “ $v_a$ ”, devido aos valores negativos de seus respectivos coeficientes.

Ainda de acordo com a Tabela 15, verifica-se que os valores dos Pseudos  $R^2$  são  $\geq 0,4$ , indicando que os modelos explicam excelentemente a variabilidade do voto de sensação térmica para essas classes assinadas pelos motoristas. No entanto, o mlo1 com Pseudo  $R^2 \approx 0,7$  obteve um melhor ajuste por estar mais próximo do valor 1, e dessa forma, pode-se inferir que a temperatura do ar foi o parâmetro que exerceu maior influência na decisão dos motoristas, com relação ao voto de sensação térmica.

Os resultados dos testes de Pearson da razão de verossimilhança ( $p\_valor$   $\chi^2$ ), quando comparados ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , indicam que há possibilidade desses modelos representarem parte da variabilidade do voto de sensação térmica, por meio desses parâmetros que foram considerados variáveis significativas de seus respectivos modelos, conforme apontado na Tabela 15.

No geral, o voto de sensação térmica dos motoristas pode ser explicado pelos parâmetros ambientais ( $t_a$ ,  $t_{rm}$ ,  $u_r$  e  $v_a$ ), e não pelos pessoais ( $I_{clo}$  e  $M$ ), tendo em vista as condições particulares supracitadas desta pesquisa. Contudo, os parâmetros “ $t_a$ ”, “ $t_{rm}$ ” e “ $u_r$ ” só podem ser modelados em modelos distintos, e o “ $v_a$ ” pode ser agrupado com “ $u_r$ ” em um mesmo modelo. Desse modo, pode-se avaliar os efeitos desses parâmetros citados no “ $vst$ ” dos condutores.

Tendo por base os resultados dos ajustes feitos em “mlo1”, “mlo3” e “mlo5”, seguiu-se com a análise desses modelos, e eles estão representados pelas Equações 15, 16 e 17.

$$mlo1 = lrm(vst \sim t_a, data = x, x = TRUE, y = TRUE) \quad (15)$$

$$mlo3 = lrm(vst \sim trm, data = x, x = TRUE, y = TRUE) \quad (16)$$

$$mlo5 = lrm(vst \sim ur + va, data = x, x = TRUE, y = TRUE) \quad (17)$$

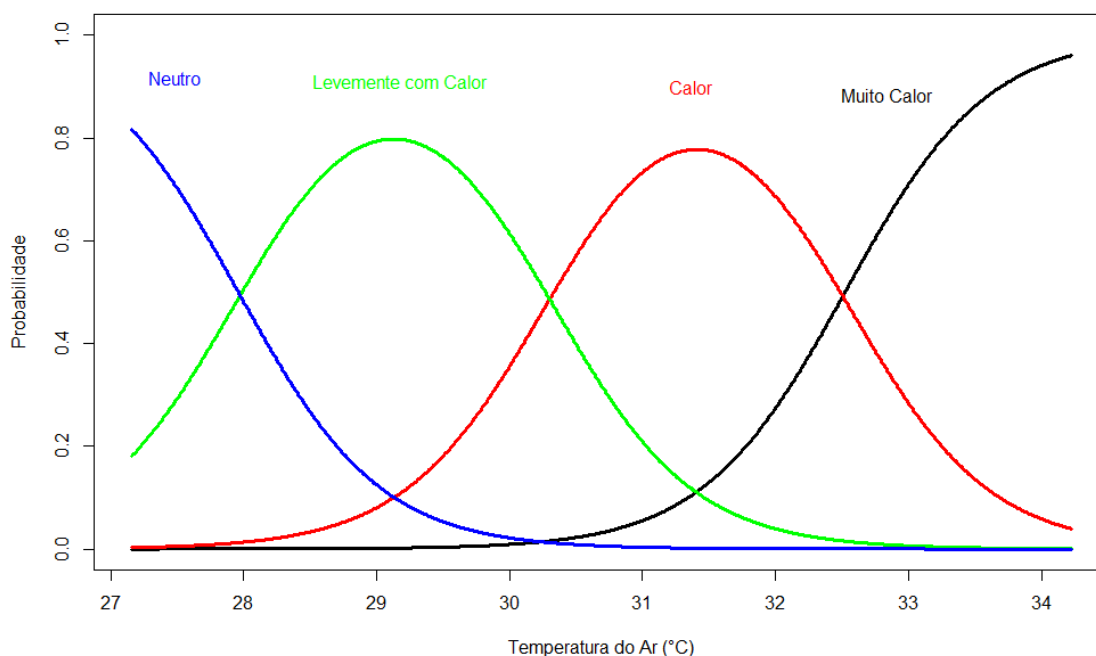
Note-se nas Equações 15, 16 e 17 a presença dos parâmetros que foram considerados variáveis independentes significativas de seus respectivos modelos, os quais foram abordados na Tabela 15, e as demais variáveis (“lclo” e “M”) foram suprimidas devido à insignificância de seus coeficientes.

No *software* R Studio, simularam-se sequências aleatórias de 1000 dados da temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e da velocidade do ar, e verificou-se por meio dos modelos ajustados, as probabilidades desses conjuntos de dados simulados estarem nas categorias “neutra”, “levemente com calor”, “calor” e “muito calor” do voto sensação térmica.

Com isso, gerou-se gráficos das curvas de probabilidade relacionados à possível resposta dos motoristas quanto à sensação térmica percebida nas categorias citadas, em função das variáveis significativas “ta”, “trm”, “ur” e “va”, e de acordo com cada modelo ajustado.

O Gráfico 7 apresenta as curvas de probabilidade do modelo “mlo1”.

**Gráfico 7 – Curvas de probabilidade das sensações térmicas de mlo1**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O Gráfico 7 demonstra as curvas de chances proporcionais do modelo “mlo1” para os votos de sensações térmicas de “neutro” (0), “levemente com calor”



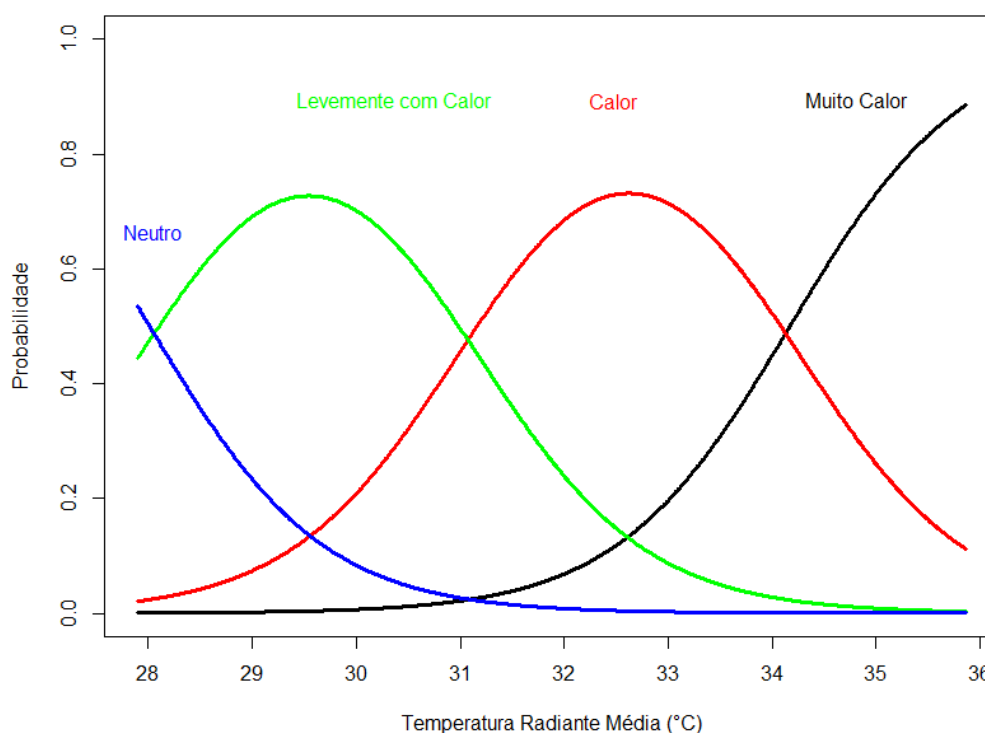
(+1), “calor” (+2) e “muito calor” (+3). Com base nesse gráfico, é possível verificar as sensações térmicas mais prováveis de ocorrerem para diferentes valores da temperatura do ar.

Nota-se no Gráfico 7, que para valores de  $t_a < 28^\circ\text{C}$ , cresce a probabilidade dos motoristas responderem que estão com a sensação de neutralidade térmica (voto neutro).

Ainda no Gráfico 7, quando a temperatura do ar estiver na faixa entre  $28^\circ\text{C} \leq t_a \leq 30,5^\circ\text{C}$ , é alta a chance dos motoristas apontarem para “levemente com calor”. É mais provável que os motoristas votem na classe “calor”, quando “ $t_a$ ” estiver no intervalo entre  $30,5^\circ\text{C} \leq t_a \leq 32,5^\circ\text{C}$  e quando  $t_a > 32,5^\circ\text{C}$  cresce as chances da classe “muito calor” ser assinalada.

No Gráfico 8, é possível examinar as curvas de probabilidade geradas pelo modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo3”.

**Gráfico 8 – Curvas de probabilidade das sensações térmicas de mlo3**



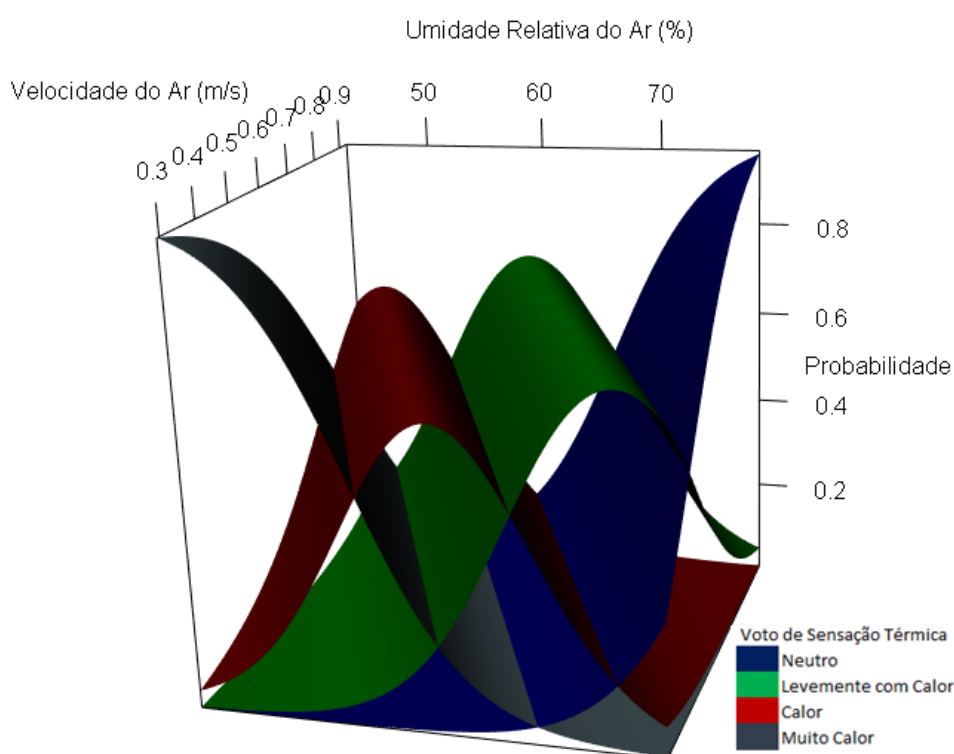
**Fonte: Autoria própria (2022)**

O Gráfico 8 expõe as curvas de chances proporcionais de “mlo3” para as classes de sensações térmicas de “neutro”, “levemente com calor”, “calor” e “muito calor”. Com base nele, verifica-se as sensações térmicas mais aceitáveis de serem escolhidas pelos motoristas para diferentes valores da temperatura radiante média.

As curvas no Gráfico 8 indicam que, quando  $trm > 28^{\circ}\text{C}$ , cresce a probabilidade dos motoristas votarem no “neutro” e no intervalo de  $28^{\circ}\text{C} \leq trm \leq 31^{\circ}\text{C}$ , as chances são grandes deles votarem em “levemente com calor”. No intervalo de  $31^{\circ}\text{C} \leq trm \leq 34^{\circ}\text{C}$ , há uma probabilidade alta dos condutores assinalarem a sensação térmica de “calor”, enquanto que, para valores de  $trm > 34^{\circ}\text{C}$ , crescem as chances dos condutores apontarem que estão com “muito calor”.

As curvas de probabilidade geradas pelo modelo de Regressão Logístico Ordinal “mlo5” podem ser visualizadas no Gráfico 9.

**Gráfico 9 – Curvas de probabilidade das sensações térmicas de mlo5**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O Gráfico 9 expõe as curvas de chances proporcionais do modelo “mlo5” para as classes de sensações térmicas supracitadas. Atentando a esse gráfico, verifica-se as sensações térmicas mais plausíveis de serem escolhidas pelos motoristas para diferentes valores da umidade relativa em conjunto com a velocidade do ar.

Ainda observando o Gráfico 9, nota-se que para a combinação de valores de  $ur > 70\%$  e  $va > 0,8\text{m/s}$ , a probabilidade é quase 100%, dos motoristas responderem que estão sentindo “neutro”. Entre  $70\% \leq ur \leq 60\%$  associada ao intervalo de  $0,6\text{m/s} \leq va \leq 0,8\text{m/s}$ , há aproximadamente 80% de probabilidade dos motoristas

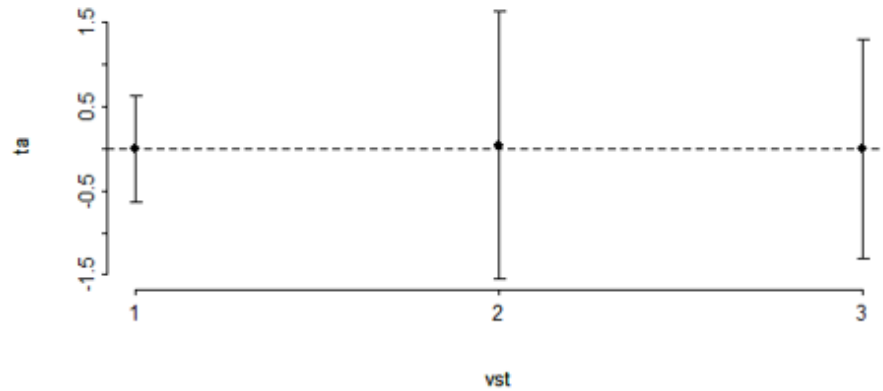
dizerem que estão sentindo “levemente com calor”. Para a combinação de valores entre  $60\% \leq ur \leq 50\%$  e  $0,6\text{m/s} \leq va \leq 0,4\text{m/s}$ , as chances são maiores dos condutores apontarem que estão com “calor”, enquanto que, se a umidade relativa do ar for inferior a 50% e a velocidade do ar for abaixo de 0,4m/s, então a probabilidade seria de 100% dos condutores afirmarem que estão com “muito calor”.

As afirmações feitas das probabilidades ou razões de chances dos modelos ajustados “mlo1”, “mlo3” e “mlo5”, que foram modelados com base na Regressão Logística Ordinal, só serão válidas se forem verificadas as qualidades dos ajustes.

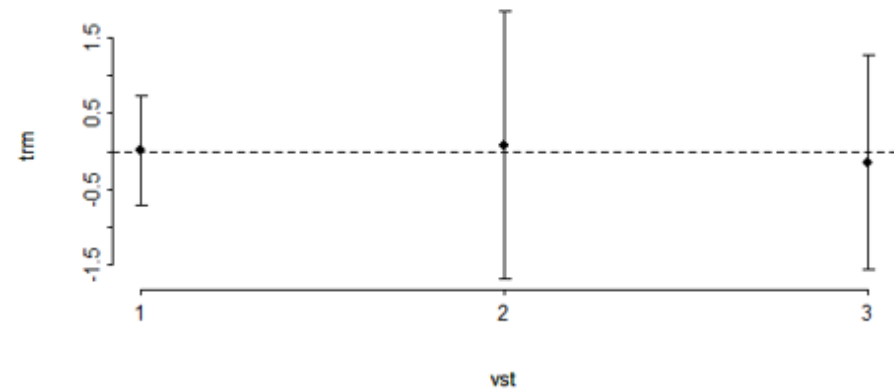
Os resultados dos testes de Pearson e *devienc* para os modelos ajustados “mlo1”, “mlo3” e “mlo5”, estão presentes na Tabela 15, e demonstraram que há possibilidade desses modelos representarem parte da variabilidade do voto de sensação térmica em função de suas respectivas variáveis independentes significativas.

No entanto, esta pesquisa aprofundou a validação de seus modelos ajustados pelas observações dos resíduos escores e parciais que estão presentes nos Gráficos 10 e 11, respectivamente.

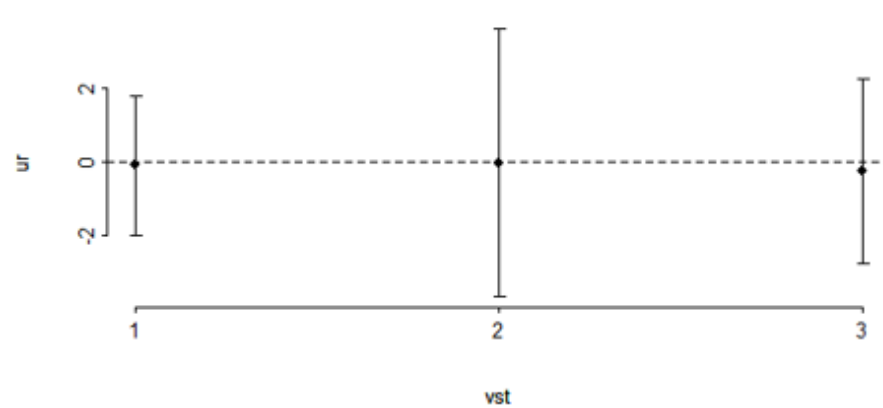
Gráfico 10 – Resíduos escores das variáveis de mlo1, mlo3 e mlo5



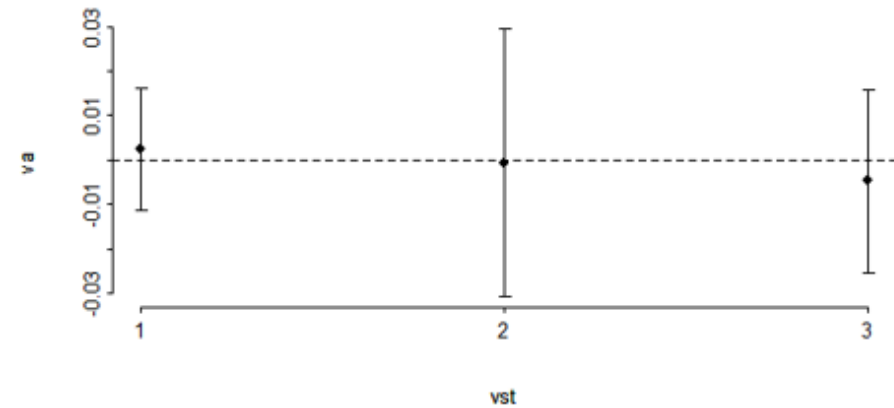
(a) Gráfico de resíduos escores para a temperatura do ar do modelo mlo1



(b) Gráfico de resíduos escores para a temperatura radiante média do modelo mlo3



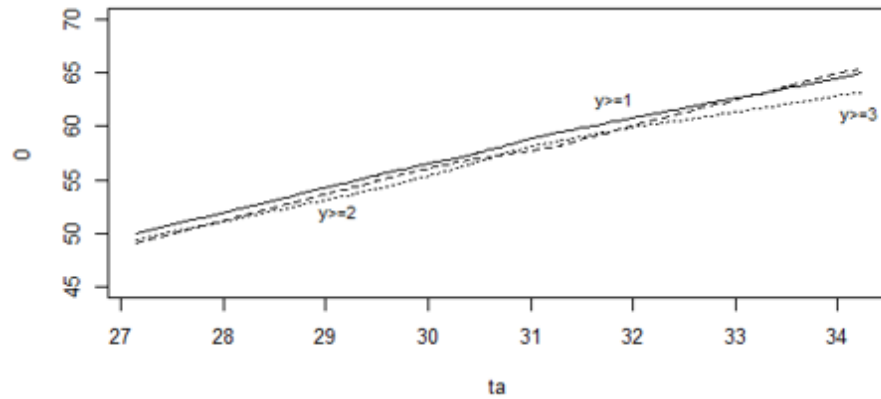
(c) Gráfico de resíduos escores para a umidade relativa do ar do modelo mlo5



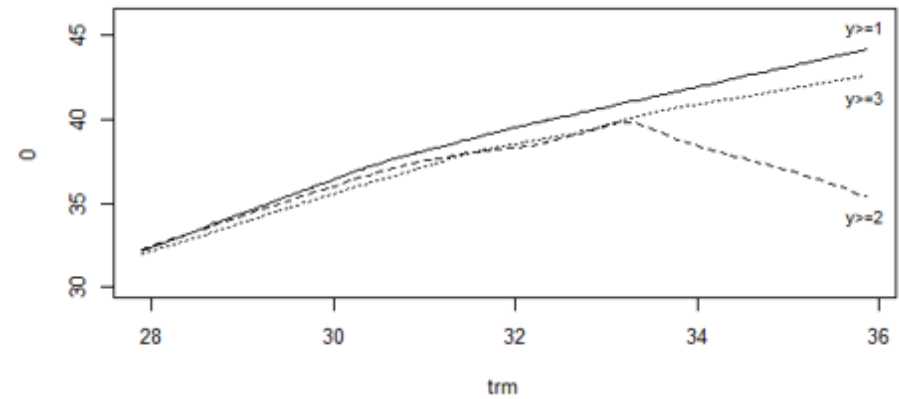
(d) Gráfico de resíduos escores para a velocidade do ar do modelo mlo5

Fonte: Autoria própria (2022)

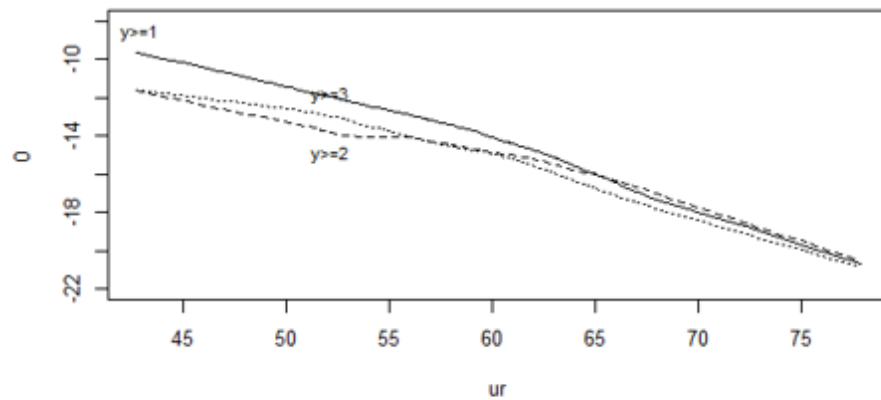
Gráfico 11 – Resíduos parciais das variáveis de mlo1, mlo3 e mlo5



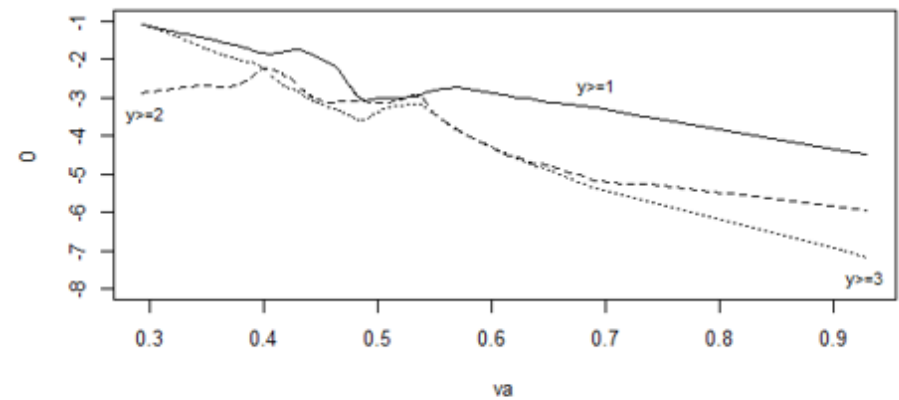
(a) Gráfico de resíduos parciais para a temperatura do ar do modelo mlo1



(b) Gráfico de resíduos parciais para a temperatura radiante média do modelo mlo3



(c) Gráfico de resíduos parciais para a umidade relativa do ar do modelo mlo5



(d) Gráfico de resíduos parciais para a velocidade do ar do modelo mlo5

Fonte: Autoria própria (2022)

O Gráfico 10 apresenta quatro ilustrações dos resíduos escores para cada variável independente significativa de seus respectivos modelos ajustados. Conforme as ilustrações (a), (b), (c) e (d) do Gráfico 10, nota-se que os comportamentos das classes são horizontais constantes e com as médias próximas de zero dos eixos das variáveis independentes significativas, e com isso, reforça a inferência feita dos resultados dos testes Wald para as classes citadas na Tabela 15, e validam as afirmações feitas nas curvas de probabilidade dos Gráficos 7, 8 e 9.

O Gráfico 11 exibe quatro ilustrações dos resíduos parciais para cada variável independente significativa de seus respectivos modelos ajustados. Logo, verificando as ilustrações (b) e (d) do gráfico citado, nota-se que a suposição de linearidade pode ser descartada para as variáveis independentes: temperatura radiante média e velocidade do ar. No entanto, pode-se inferir que, para valores inferiores a 33°C de “trm”, observa-se um comportamento linear entre as categorias. O mesmo não pode ser concluído para “va”, pois em toda sua extensão gráfica, o comportamento linear pode ser descartado. Para a temperatura do ar e umidade relativa do ar, nas ilustrações (a) e (c) do Gráfico 11, verifica-se um comportamento linear bem definido, demonstrando que eles são bons previsores do voto de sensação térmica.

No geral, visualizando o Gráfico 11, pode-se inferir que o modelo ajustado “mlo1”, cuja variável “ta” se mostrou significativa, pode ser considerado o melhor predictor para o voto de sensação térmica dos motoristas de ônibus, pois a suposição de paralelismos pode ser considerada razoável para as classes, enquanto que os demais modelos não apresentaram esse comportamento com paralelismo.

#### 4.2.2 Voto de avaliação térmica

Outra variável subjetiva questionada nesta pesquisa foi o voto de avaliação térmica (vat). Para esse voto, os motoristas poderiam escolher uma única opção dentre uma escala de 4 alternativas, conforme a percepção deles com relação ao ambiente nas classes: “confortável” (0); “levemente desconfortável” (1); “desconfortável” (2); e “muito desconfortável” (3).

A Tabela 16 expõe o quantitativo de “vat” escolhidos pelos motoristas durante as 180 observações ambientais levantadas.

**Tabela 16 – Quantitativo dos votos de avaliação térmica**

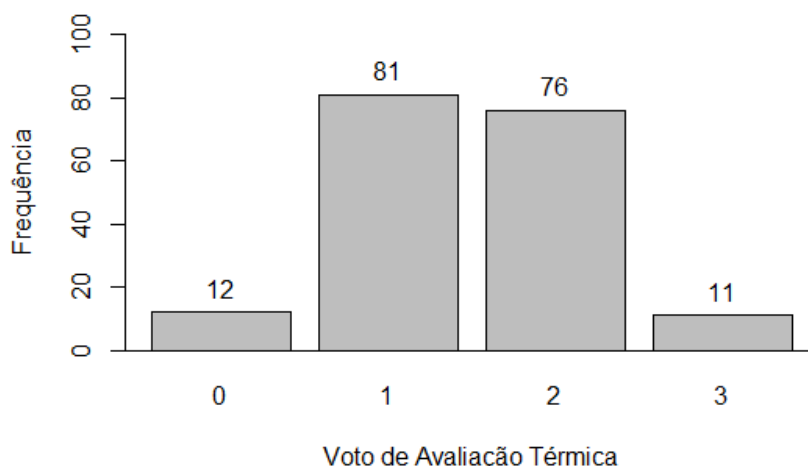
Variáveis	Voto de avaliação térmica			
	Confortável	Levemente desconfortável	Desconfortável	Muito desconfortável
Geral	12	81	76	11
2ª viagem	3	14	34	9
4ª viagem	3	28	27	2
5ª viagem	6	39	15	-
Motorista 1 (viag 2)	-	4	14	2
Motorista 1 (viag 4)	1	7	10	2
Motorista 1 (viag 5)	1	12	7	-
Motorista 2 (viag 2)	3	7	10	-
Motorista 2 (viag 4)	1	11	8	-
Motorista 2 (viag 5)	3	11	6	-
Motorista 3 (viag 2)	-	3	10	7
Motorista 3 (viag 4)	1	10	9	-
Motorista 3 (viag 5)	2	16	2	-

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Na Tabela 16, observa-se os dados dos votos de avaliação térmica que, no geral, indicam que os ambientes das cabines dos motoristas de ônibus analisados podem ser caracterizados como “levemente desconfortáveis” a “desconfortáveis”, pois esses foram os votos com maior frequência de incidência de respostas. Nota-se também que os condutores classificaram as cabines de trabalho como “confortáveis”, em 12 observações das 180 condições térmicas analisadas.

Ainda atentando à Tabela 16, a 5ª viagem pode ser classificada como a mais agradável dentre as três observadas, com predominância maior dos votos em “levemente desconfortável”, e com 6 votos “confortável”, dos 12 assinalados no geral. Do mesmo modo, a viagem de número 2 pode ser considerada a mais desconfortável, visto que obteve uma frequência maior dos votos na classe “desconfortável” e “muito desconfortável”, dentre as três viagens observadas.

Os votos subjetivos da amostra de motoristas de ônibus desta pesquisa, relacionados à avaliação térmica das cabines de trabalho, podem ser visualizados no Gráfico 12.

**Gráfico 12 – Frequência dos votos de avaliação térmica**

Fonte: Autoria própria (2022)

Tendo em vista o quantitativo dos votos da avaliação térmica das cabines dos motoristas de ônibus, apresentado no Gráfico 12, pode-se inferir que os ambientes monitorados foram considerados, no geral, desconfortável e mais precisamente “levemente desconfortável” (1), visto que foi o voto que obteve maior frequência de respostas dos condutores.

A Tabela 17 expõe os modelos ajustados dos votos de avaliação térmica com suas respectivas variáveis independentes, os coeficientes dessas variáveis e das classes do voto de avaliação térmica, e os testes estatísticos executados.

**Tabela 17 – Modelos ajustados do voto da avaliação térmica**

Modelo	Variável	Coefficiente	p_valor Z	p_valor $\chi^2$	Pseudo R <sup>2</sup>
mlo1.1	ta	1,1000	0,0001		
	va	-5,6035	0,0046		
	y≥1	-27,5025	0,0001	0,0001	0.467
	y≥2	-31,3365	0,0001		
	y≥3	-35,1804	0,0001		
mlo3.1	trm	0,6621	0,0001		
	va	-6,0539	0,0019		
	y≥1	-14,7945	0,0001	0,0001	0.373
	y≥2	-18,2867	0,0001		
	y≥3	-21,7237	0,0001		
mlo5.1	ur	-0,1488	0,0001		
	va	-7,992	0,0001		
	y≥1	15,9908	0,0001	0,0001	0,300
	y≥2	12,6514	0,0001		
	y≥3	9,4766	0,0001		

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 17, observa-se os três modelos ajustados dos seis gerados inicialmente pela Equação 14. A redução desse número se deu pelo mesmo fato



relatado nos votos de sensação térmica, em que os modelos “mlo1.1” e “mlo2.1” após ajustes, resultaram em modelos com as mesmas variáveis, assim como ocorreu entre “mlo3.1” e “mlo4.1”, e entre “mlo5.1” e “mlo6.1”.

Ainda na Tabela 17 e observando os valores da coluna p\_valor Z do teste de Wald das classes e variáveis independentes dos modelos ajustados, nota-se que eles foram menores que no nível de significância  $\alpha=0,05$ , indicando que as classes e os parâmetros ambientais, representados pelas variáveis “ta”, “trm”, ‘ur’ e “va”, foram os únicos significativos, de acordo com a Tabela 16. Ademais, de acordo com os coeficientes de ‘ta’ e “trm”, pode-se inferir que há uma tendência de que o voto de avaliação térmica dos motoristas aumente com a elevação dessas temperaturas, e de que o “vat” reduza com o aumento da “ur” e “va”.

Continuando na Tabela 17, nota-se que mlo1.1 obteve Pseudos  $R^2 > 0,4$ , indicando que ele tem um poder explicativo excelente dos votos de avaliação térmica. Além disso, os modelos ajustados mlo3.1 e mlo5.1 têm um poder explicativo tolerável ( $0,2 \leq \text{Pseudos } R^2 \leq 0,4$ ), entretanto eles não podem ser descartados, visto que os resultados dos testes Pearson da razão de verossimilhança (p\_valor  $\chi^2$ ), quando comparados ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , indicam a possibilidade desses modelos representarem parte da variabilidade do voto de avaliação térmica, por meio das variáveis que foram consideradas significativas.

No geral, o voto de avaliação térmica dos motoristas pode ser explicado pelos parâmetros ambientais e não pelos pessoais, tendo em vista as condições particulares supracitadas desta pesquisa. No entanto, os parâmetros “ta”, “trm” e “ur” podem ser agrupados com “va” e modelados em modelos distintos. Desse modo, pode-se avaliar os efeitos desses parâmetros citados na avaliação térmica dos ambientes dos condutores de ônibus.

Os modelos ajustados do voto de avaliação térmica “mlo1.1”, “mlo3.1” e “mlo5.1”, representados pelas Equações 23, 24 e 25, foram submetidos às análises das probabilidades de ocorrência das classes apontadas.

$$mlo1.1 = lrm(vat \sim ta + va, data = x, x = TRUE, y = TRUE) \quad (18)$$

$$mlo3.1 = lrm(vat \sim trm + va, data = x, x = TRUE, y = TRUE) \quad (19)$$

$$mlo5.1 = lrm(vat \sim ur + va, data = x, x = TRUE, y = TRUE) \quad (20)$$

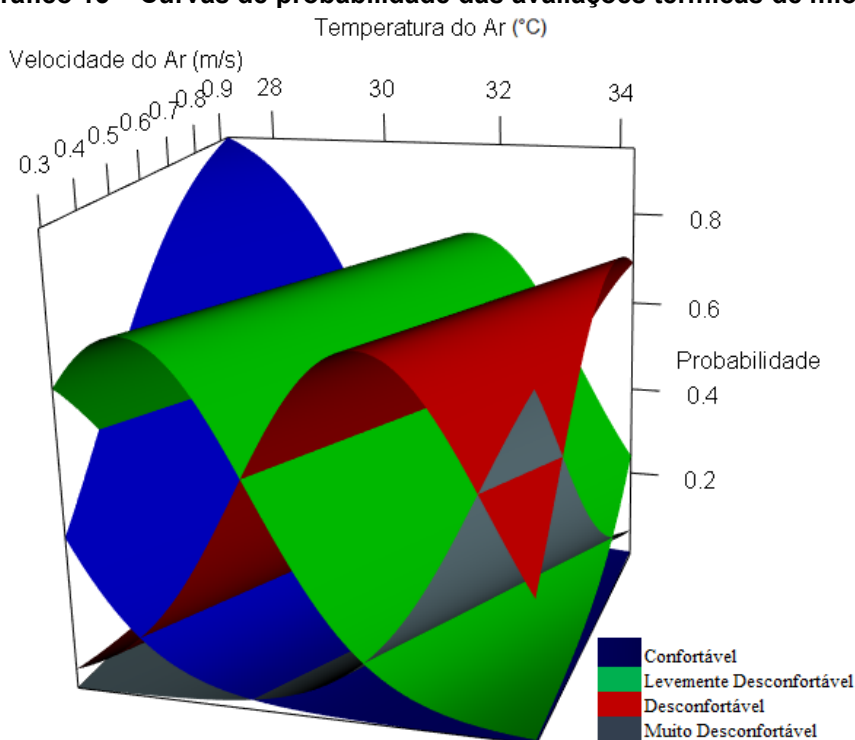
Nas Equações 18, 19 e 20 só estão presentes as variáveis independentes significativas dos seus respectivos modelos ajustados, e as demais (“Iclo” e “M”) foram retiradas devido à insignificância de seus coeficientes, frente ao teste de Wald, conforme explicado na Tabela 17.

Por meio do *software* R Studio, simularam-se sequências aleatórias de 1000 dados para as variáveis independentes significativas dos modelos ajustados, e verificaram-se as probabilidades dessas sequências estarem nas categorias “confortável”, “levemente desconfortável”, “desconfortável” e “muito desconfortável” do voto avaliação térmica.

Com isso, foi possível gerar gráficos das curvas de probabilidade relacionadas às respostas dos motoristas quanto à avaliação térmica percebida no seu ambiente de trabalho, nas quatro categorias apontadas, em função das combinações das variáveis significativas “ta”, “trm” e “ur” com “va”.

As curvas de probabilidade geradas pelo modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo1.1” podem ser vistas no Gráfico 13.

**Gráfico 13 – Curvas de probabilidade das avaliações térmicas de mlo1.1**



As curvas de probabilidade do “mlo1.1” para os votos de avaliação térmica “confortável”, “levemente desconfortável”, “desconfortável” e “muito desconfortável”, podem ser visualizadas no Gráfico 13. Nesse gráfico, verifica-se as avaliações

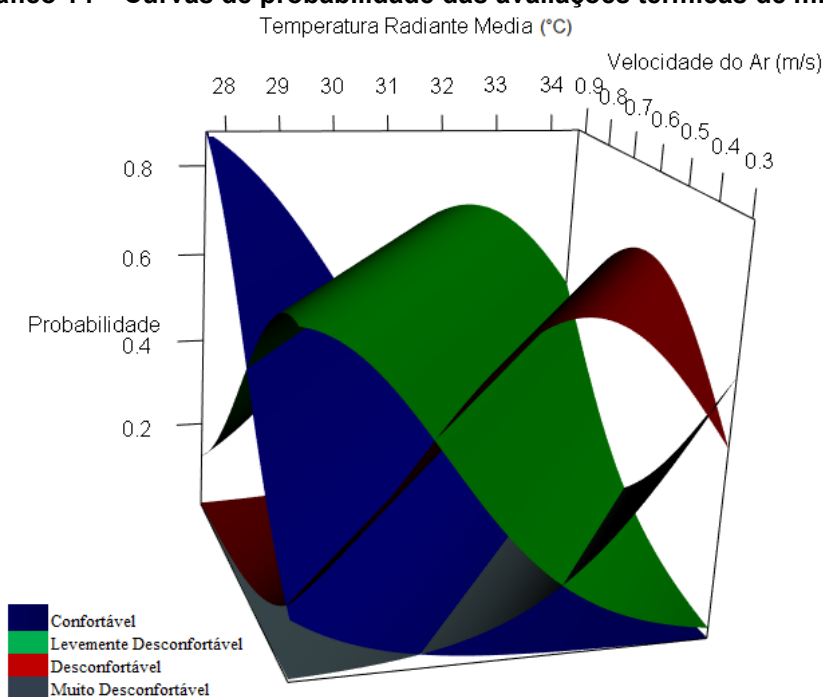
térmicas mais prováveis de serem selecionadas pelos condutores, para diferentes valores da temperatura do ar e velocidade do ar.

Ainda observando o Gráfico 13, verifica-se que para a combinação de valores de  $t_a < 29^\circ\text{C}$  e  $v_a > 0,7\text{m/s}$ , há uma alta probabilidade dos motoristas avaliarem a cabine dos ônibus como “confortável” termicamente. Para valores do intervalo de  $29^\circ\text{C} \leq t_a \leq 32^\circ\text{C}$ , associadas com os do intervalo  $0,3\text{m/s} \leq v_a \leq 0,8\text{m/s}$ , há grandes chances dos votos da avaliação térmica serem caracterizados como “levemente desconfortável”.

Ainda no Gráfico 13, a associação dos conjuntos de valores  $32^\circ\text{C} \leq t_a \leq 34^\circ\text{C}$  com  $0,4\text{m/s} \leq v_a \leq 0,7\text{m/s}$ , aumenta as chances dos condutores avaliarem o ambiente de trabalho deles como “desconfortável”. A classe “muito desconfortável”, para o voto de avaliação térmica só será assinalada pelos motoristas quando forem combinados os valores de  $t_a > 34^\circ\text{C}$  a valores de  $v_a < 0,4\text{m/s}$ .

No Gráfico 14, é possível verificar as curvas de probabilidade geradas pelo modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo3.1”.

**Gráfico 14 – Curvas de probabilidade das avaliações térmicas de mlo3.1**



O Gráfico 14 apresenta as curvas de probabilidade de “mlo3.1” para os votos de avaliação térmica “confortável”, “levemente desconfortável”, “desconfortável” e “muito desconfortável”. Visualizando o gráfico, verifica-se as curvas de chances proporcionais da avaliação térmica mais prováveis de serem selecionadas pelos

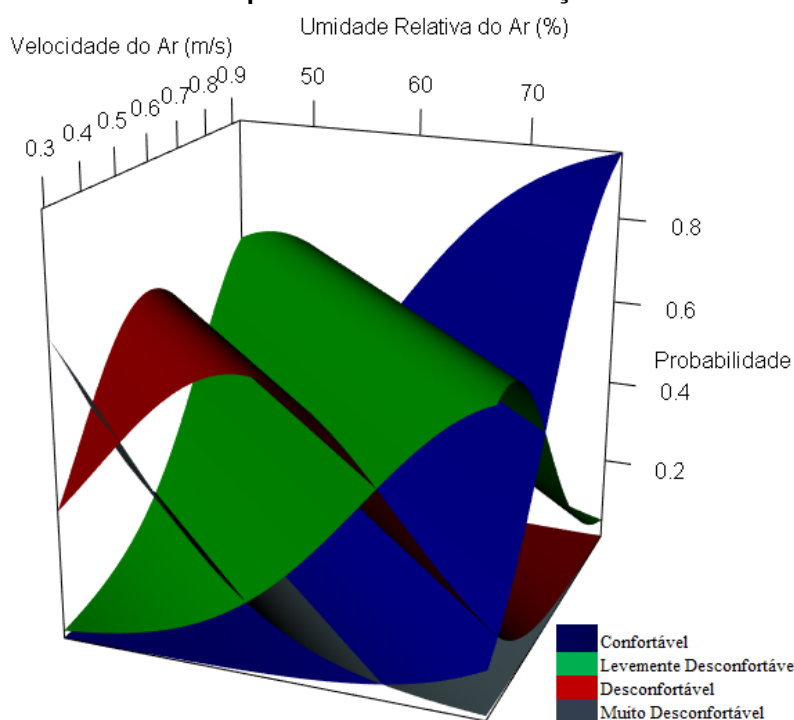
motoristas, para diferentes valores da temperatura radiante média em conjunto com a velocidade do ar.

Ainda de acordo com o Gráfico 14, nota-se que para a combinação de valores de  $t_a < 29^\circ\text{C}$  e  $v_a > 0,7\text{m/s}$ , há uma alta probabilidade dos motoristas avaliarem a cabine dos ônibus como “confortável” termicamente. Valores da temperatura do ar entre  $29^\circ\text{C} \leq t_a \leq 32^\circ\text{C}$  em conjunto com os da velocidade do ar entre  $0,7\text{m/s} \leq v_a \leq 0,4\text{m/s}$ , indicam que há grandes chances dos votos serem avaliados como “levemente desconfortável”.

Ao analisar o Gráfico 14, percebe-se que uma combinação de valores entre  $32^\circ\text{C} \leq t_a \leq 34^\circ\text{C}$  com  $0,5\text{m/s} \leq v_a \leq 0,3\text{m/s}$ , isso demonstra que as chances são maiores dos condutores apontarem que estão “desconfortáveis”. Para a situação da combinação de valores de  $t_a > 34^\circ\text{C}$  e  $v_a < 0,4\text{m/s}$ , há uma grande chance de que os condutores digam que o ambiente de trabalho deles está “muito desconfortável”.

Observa-se no Gráfico 15 as curvas de probabilidade geradas pelo modelo “mlo5.1” para o voto de avaliação térmica.

**Gráfico 15 – Curvas de probabilidade das avaliações térmicas de mlo5.1**



Fonte: Autoria própria (2022)

As curvas de chance proporcional ou de probabilidade gerada pelo modelo “mlo5.1” para os votos de avaliação térmica “confortável”, “levemente desconfortável”, “desconfortável” e “muito desconfortável” podem ser observadas no

Gráfico 15. Nesse gráfico, verifica-se as avaliações térmicas mais plausíveis de serem selecionadas pelos motoristas, para diferentes valores das umidades relativas ar em sintonia com valores das velocidades do ar.

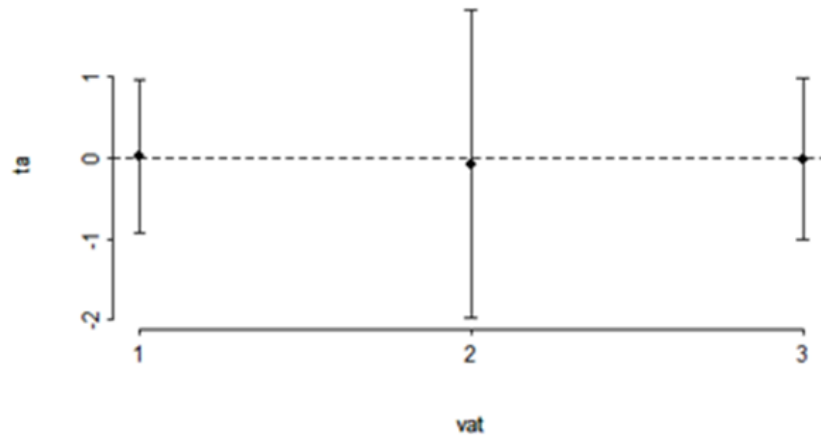
Verificando as curvas extremas do Gráfico 15, é possível inferir que quando  $ur < 50\%$  e  $va < 0,4\text{m/s}$ , há uma alta probabilidade dos motoristas avaliarem as cabines dos ônibus como “muito desconfortável” termicamente. No caso da combinação de  $ur > 70\%$  com  $va > 0,7\text{m/s}$ , há uma grande probabilidade de que os condutores digam que o ambiente de seu trabalho esteja termicamente “confortável”.

Ainda no Gráfico 15, as curvas de chances proporcionais das classes “levemente desconfortável” e “desconfortável” são mais plausíveis de serem escolhidas pelos motoristas para as combinações de valores dos intervalos  $60\% \leq ur \leq 70\%$  com  $0,5\text{m/s} \leq va \leq 0,7\text{m/s}$ , e  $50\% \leq ur \leq 60\%$  com  $0,3\text{m/s} \leq va \leq 0,5\text{m/s}$ , respectivamente.

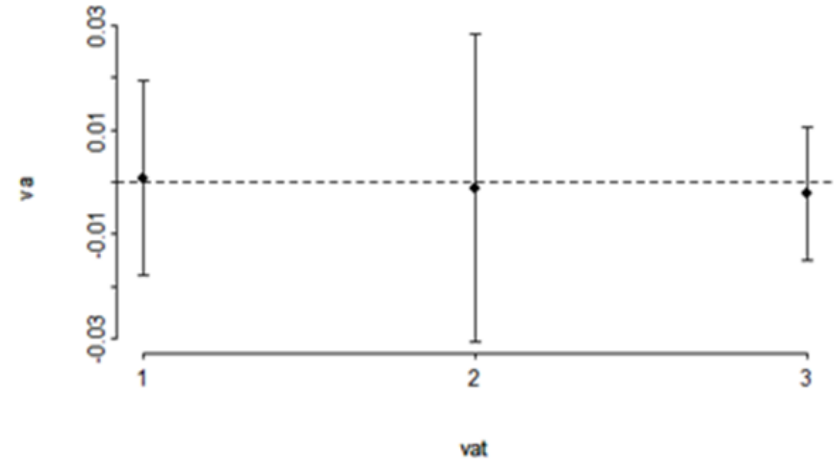
As declarações feitas das probabilidades ou razões de chances dos modelos ajustados “mlo1.1”, “mlo3.1” e “mlo5.1”, com base na Regressão Logística Ordinal, só serão válidas se forem verificadas as qualidades dos ajustes desses modelos.

Diante disso, os resultados dos testes de Pearson e *devianc*, que foram apresentados na Tabela 17, já demonstraram que há possibilidade desses modelos representarem parte da variabilidade do voto de avaliação térmica tendo por base suas respectivas variáveis significativas. No entanto, esta pesquisa aprofundou a validação de seus modelos ajustados pelas observações gráficas dos resíduos escores e parciais, que estão presentes nos Gráficos 16, 17 e 18.

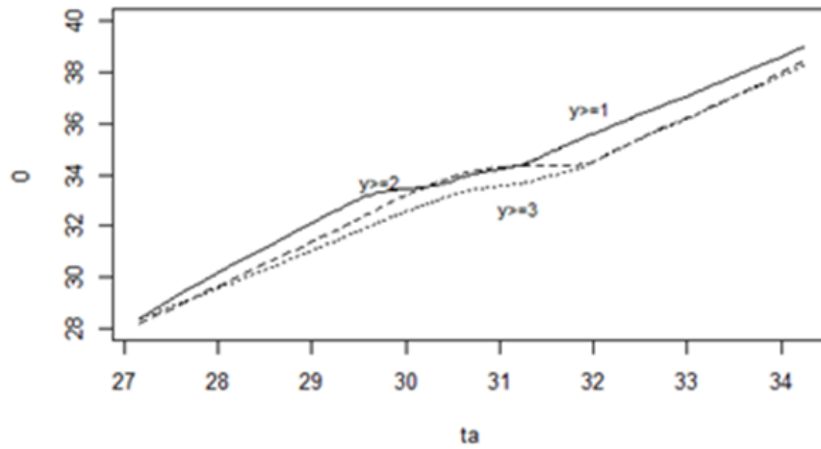
Gráfico 16 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo1.1



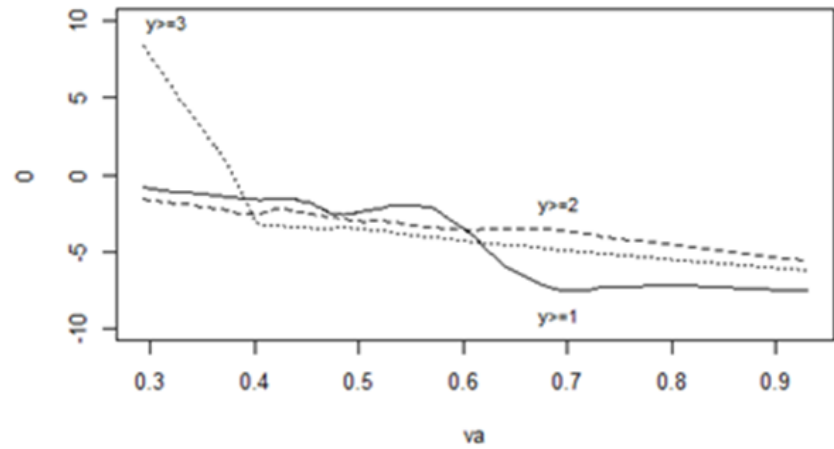
(a) Gráfico de resíduos escores para a temperatura do ar



(b) Gráfico de resíduos escores para a velocidade do ar



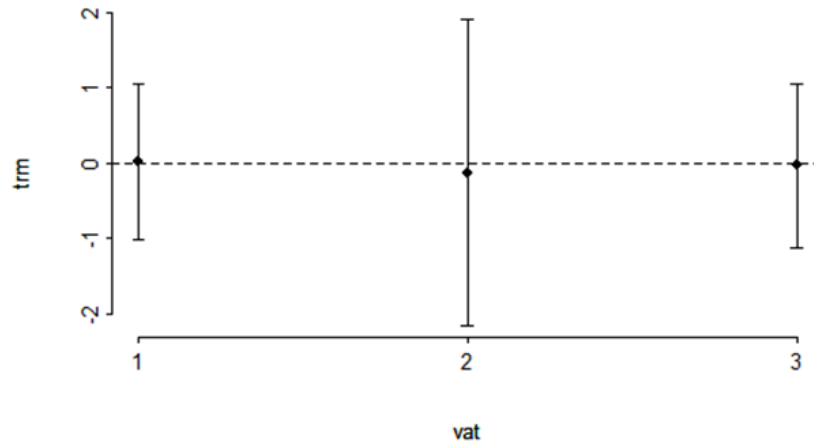
(c) Gráfico de resíduos parciais para a temperatura do ar



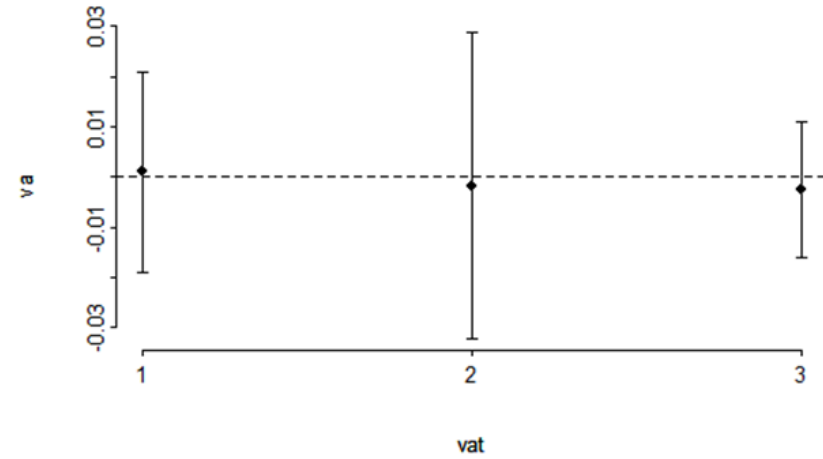
(d) Gráfico de resíduos parciais para a velocidade do ar

Fonte: Autoria própria (2022)

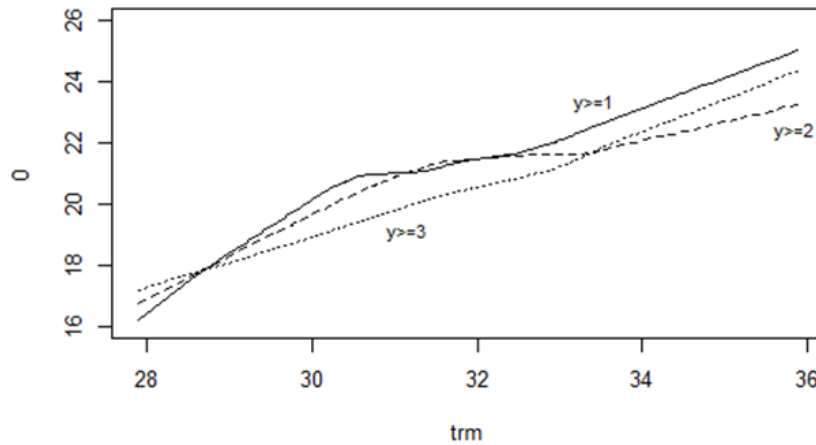
Gráfico 17 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo3.1



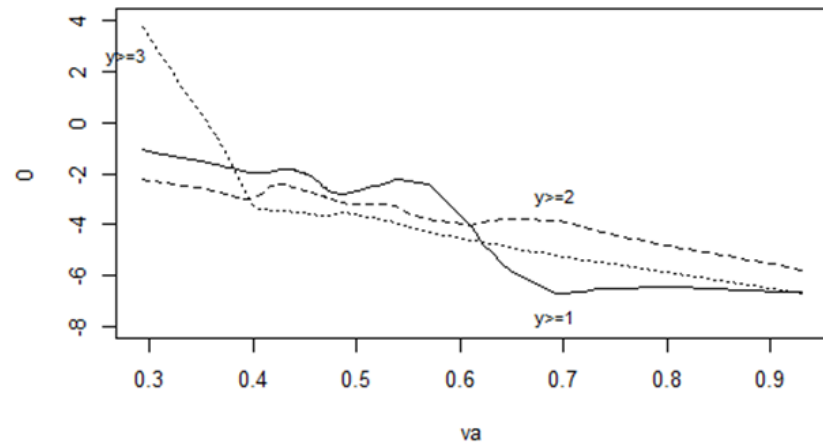
(a) Gráfico de resíduos escores para a temperatura radiante média



(b) Gráfico de resíduos escores para a velocidade do ar



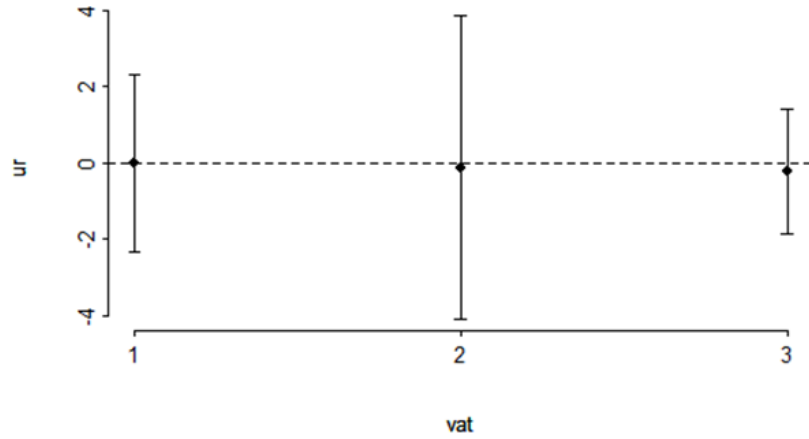
(c) Gráfico de resíduos parciais para a temperatura radiante média



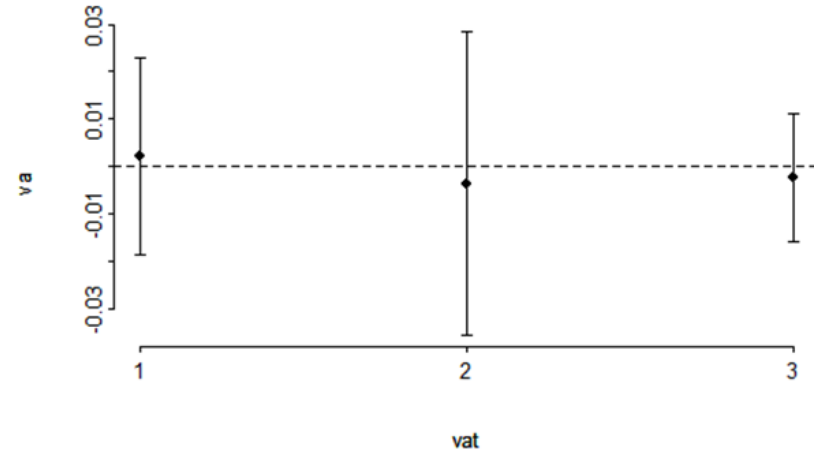
(d) Gráfico de resíduos parciais para a velocidade do ar

Fonte: Autoria própria (2022)

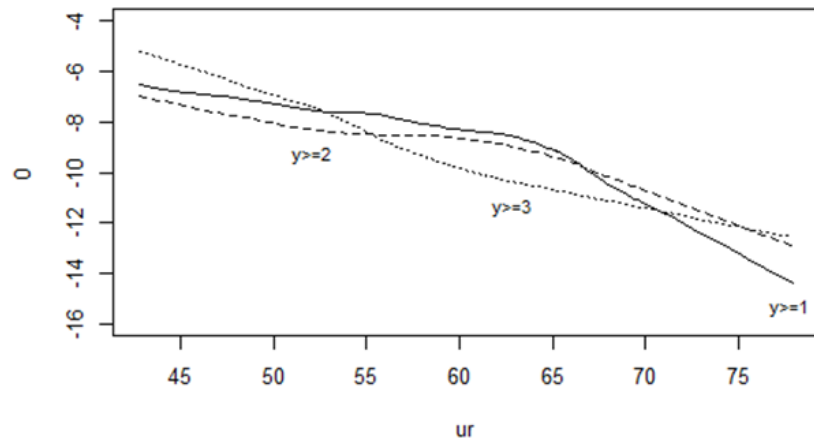
**Gráfico 18 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo5.1**



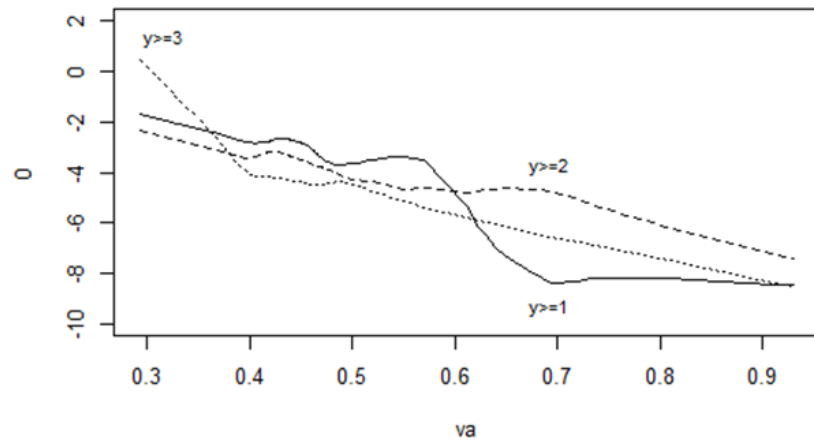
**(a) Gráfico de resíduos escores para a umidade relativa do ar**



**(b) Gráfico de resíduos escores para a umidade relativa do ar**



**(c) Gráfico de resíduos parciais para a umidade relativa do ar**



**(d) Gráfico de resíduos parciais para a umidade relativa do ar**

Fonte: Autoria própria (2022)



Os Gráficos 16, 17 e 18 apresentam quatro ilustrações, das quais duas são de resíduos escores, e outras duas são de resíduos parciais, para as variáveis independentes significativas dos modelos mlo1.1, mlo3.1 e mlo5.1, respectivamente. Conforme as ilustrações (a) e (b) dos Gráficos 16, 17 e 18, nota-se que os comportamentos esperados das classes sejam horizontais constantes e com as médias próximas de zero dos eixos das variáveis.

Nas ilustrações (c) dos Gráficos 16, 17 e 18, percebe-se que a umidade relativa do ar e as temperaturas do ar, e radiante média são bons previsores para o voto de avaliação térmica, visto que as classes desse voto apresentam um comportamento razoavelmente linear e paralelo. O mesmo não pode ser afirmado para a velocidade do ar, pois nas ilustrações (d) dos gráficos citados verifica-se um comportamento não linear das classes da avaliação térmica.

No geral, as declarações feitas nas curvas de probabilidade dos Gráficos 13, 14 e 15 podem não representar bem o comportamento dos votos de avaliação térmica, mas isso já era esperado devido aos valores baixos dos Pseudos  $R^2$  dos modelos, indicados na Tabela 17.

#### 4.2.3 Voto de preferência térmica

O voto de preferência térmica (vpt) foi o último a ser questionado durante a pesquisa. Nesse tipo de voto, os motoristas poderiam indicar uma única opção dentre uma escala de 7 pontos, conforme a preferência de como eles desejariam estar termicamente naquele momento em relação às classes: “bem mais refrescado” (-3); “mais refrescado” (-2); “um pouco mais refrescado” (-1); “assim mesmo” (0); “um pouco mais aquecido” (+1); “mais aquecido” (+2); e “bem mais aquecido” (+3).

O quantitativo dos “vpt” assinalados pelos motoristas, durante as 180 observações ambientais levantadas, está na Tabela 18.

**Tabela 18 – Quantitativo dos votos de preferência térmica**

Variáveis	Voto de preferência térmica			
	Assim mesmo	Um pouco mais refrescado	Mais refrescado	Bem mais refrescado
Geral	11	115	50	4
2ª viagem	3	25	29	3
4ª viagem	2	40	17	1
5ª viagem	6	50	4	-

(continua)

**Tabela 18 – Quantitativo dos votos de preferência térmica****(conclusão)**

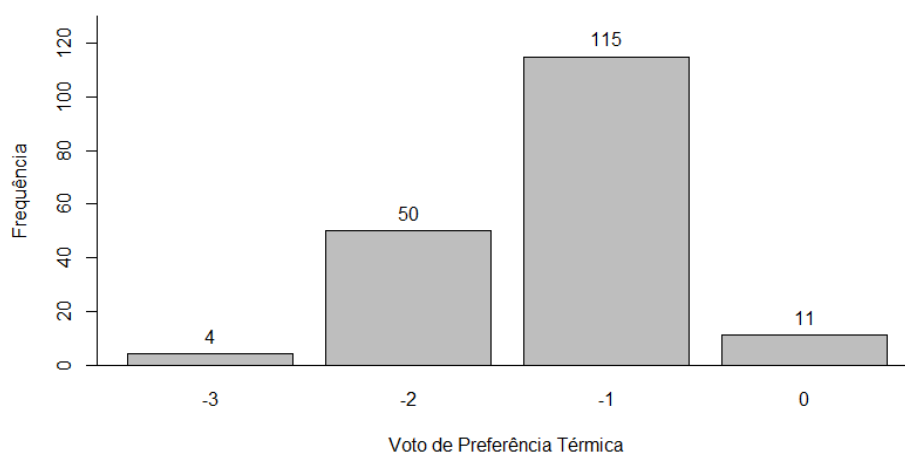
Variáveis	Voto de preferência térmica			
	Assim mesmo	Um pouco mais refrescado	Mais refrescado	Bem mais refrescado
Motorista 1 (viag 2)	-	8	11	1
Motorista 1 (viag 4)	1	12	6	1
Motorista 1 (viag 5)	2	17	1	-
Motorista 2 (viag 2)	3	12	5	-
Motorista 2 (viag 4)	-	13	7	-
Motorista 2 (viag 5)	1	16	3	-
Motorista 3 (viag 2)	-	5	13	2
Motorista 3 (viag 4)	3	17	-	-
Motorista 3 (viag 5)	3	17	-	-

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Na Tabela 18, observa-se os dados dos votos de preferência térmica que no geral, apontam que os motoristas de ônibus analisados preferiram estar um pouco mais refrescado do que eles estavam sentindo. Nota-se também que os condutores, em nenhuma viagem do levantamento, escolheram uma preferência nas classes positivas citadas.

Ainda atentando à Tabela 18, a 2ª viagem foi a mais exigente, uma vez que os motoristas gostariam de estar se sentindo “mais refrescados”, e com 3 votos preferindo a classe “bem mais refrescado”, dos 4 votos no geral. No outro extremo está a viagem de número 5, podendo ser considerada a menos exigente, já que os condutores preferiram estar “um pouco mais refrescado” termicamente do que estavam passando naquele momento, e com 6 votos na classe de permanecer “assim mesmo”, dos 11 votos dessa categoria de preferência térmica.

As frequências de votos subjetivos da amostra de motoristas de ônibus desta pesquisa, quanto à preferência térmica, podem ser visualizadas no Gráfico 19.

**Gráfico 19 – Frequência dos votos de preferência térmica**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Tendo em vista as frequências dos votos de preferência térmica dos motoristas de ônibus apresentadas no Gráfico 19, pode-se deduzir que os condutores preferiram estar, no geral, “um pouco mais refrescado” (-1) no seu posto de trabalho do que o que eles estavam passando naquele momento.

A Tabela 19 expõe os modelos ajustados dos votos de preferência térmica com suas respectivas variáveis significativas, as classes, os coeficientes dessas variáveis e das classes, e os testes estatísticos executados.

**Tabela 19 – Modelos ajustados do voto de preferência térmica**

Modelo	Variável	Coefficiente	p_valor Z	p_valor $\chi^2$	Pseudo R2
mlo1.2	ta	-1,1701	0,0001	0,0001	0.437
	y $\geq$ 0	32,3643	0,0001		
	y $\geq$ -1	37,3798	0,0001		
	y $\geq$ -2	41,2176	0,0001		
mlo3.2	trm	-0,7894	0,0001	0,0001	0.404
	va	4,4974	0,0286		
	y $\geq$ 0	19,3819	0,0001		
	y $\geq$ -1	24,2761	0,0001		
mlo5.2	y $\geq$ -2	27,9180	0,0001	0,0001	0.327
	ur	0,1827	0,0001		
	va	6,4498	0,0012		
	y $\geq$ 0	-17,4938	0,0001		
	y $\geq$ -1	-12,8915	0,0001		
	y $\geq$ -2	-9,4627	0,0001		

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Da mesma forma que houve redução no número de modelos pelos votos de sensação e avaliação térmica, houve também nos votos de preferência térmica, e com isso, observa-se na Tabela 19 os três modelos distintos e ajustados a esse voto.

Ainda na Tabela 19 e verificando os valores  $p\_valor$  Z do teste de Wald das variáveis independentes e classes de cada modelo, observa-se que esses foram menores do que no nível de significância  $\alpha=0,05$ , indicando que as classes e os parâmetros “ta”, “trm”, “ur” e “va” são significativos. Além disso, de acordo com os coeficientes de “ta” e “trm”, pode-se inferir que há uma tendência do voto de preferência térmica (vpt) dos motoristas diminuírem com o aumento dessas variáveis, e do “vpt” aumentar, com o aumento de “ur” e “va”.

Sobre o pseudos  $R^2$  dos modelos presentes na Tabela 19, nota-se que os modelos ajustados mlo1.2 e mlo3.2 têm um poder explicativo considerado excelente (pseudos  $R^2 >0,4$ ), e o mlo5.2 obteve um poder tolerável ( $0,2 \leq \text{pseudos } R^2 \leq 0,4$ ). No entanto, os resultados dos testes da razão de verossimilhança ( $p\_valor \chi^2$ ) indicam que há possibilidade desses modelos representarem parte da variabilidade do voto de preferência térmica, por meio de suas variáveis, pois eles foram inferiores ao nível de significância  $\alpha=0,05$ .

No geral, pode-se dizer que os parâmetros pessoais não explicam o voto de preferência térmica dos motoristas, e os únicos parâmetros que influenciam o “vpt” são os ambientais, presentes na Tabela 19. Além disso, os parâmetros “trm” e “ur” podem ser agrupados com “va” e modelados em modelos distintos, e “ta” deve ser modelado sozinho. Desse modo, pode-se avaliar os efeitos desses parâmetros citados na preferência térmica dos condutores de ônibus.

Os modelos ajustados dos votos de preferência térmica “mlo1.2”, “mlo3.2” e “mlo5.2” estão representados nas Equações 21, 22 e 23, e foram submetidos às análises das probabilidades de ocorrência das classes citadas.

$$mlo1.2 = lrm(vpt \sim ta, data = x, y = TRUE, x = TRUE) \quad (21)$$

$$mlo3.2 = lrm(vpt \sim trm + va, data = x, y = TRUE, x = TRUE) \quad (22)$$

$$mlo5.2 = lrm(vpt \sim ur + va, data = x, y = TRUE, x = TRUE) \quad (23)$$

As Equações 21, 22 e 23 apresentam os modelos ajustados de preferência térmica, e só estão presentes as variáveis independentes significativas dos seus respectivos modelos ajustados, conforme elucidado.

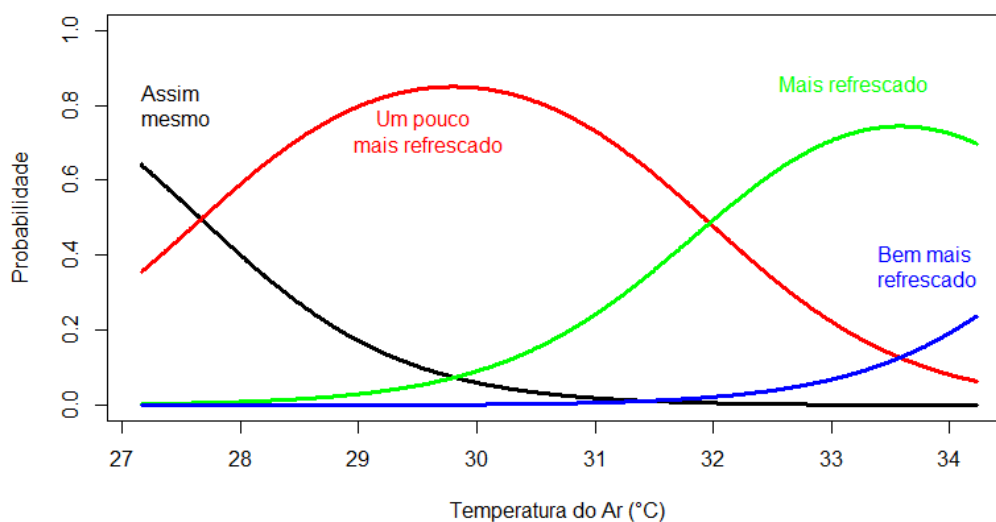
Tendo por base esses modelos ajustados e as sequências de 1000 dados simulados para as variáveis temperatura do ar, temperatura radiante média,

umidade relativa do ar e da velocidade do ar, foi possível verificar as probabilidades das categorias “bem mais refrescado”, “mais refrescado”, “um pouco mais refrescado” e “assim mesmo”, do voto preferência térmica dos motoristas.

Dessa forma, gerou-se os gráficos das curvas de probabilidade relacionadas à resposta dos motoristas quanto à preferência térmica desejada naquele momento por eles, nas quatro categorias citadas, em função das variáveis significativas “ $t_a$ ”, “ $trm$ ” e da combinação das variáveis “ $ur$ ” com “ $va$ ”.

As curvas de probabilidade do modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo1.2” estão presentes no Gráfico 20.

**Gráfico 20 – Curvas de probabilidade das preferências térmicas de mlo1.2**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O Gráfico 20 demonstra as curvas de chance proporcional do modelo “mlo1.2” para as preferências térmicas de “bem mais refrescado”, “mais refrescado”, “um pouco mais refrescado” e “assim mesmo”. No mesmo gráfico, é possível verificar as preferências térmicas mais prováveis de ocorrerem para diferentes valores da temperatura do ar.

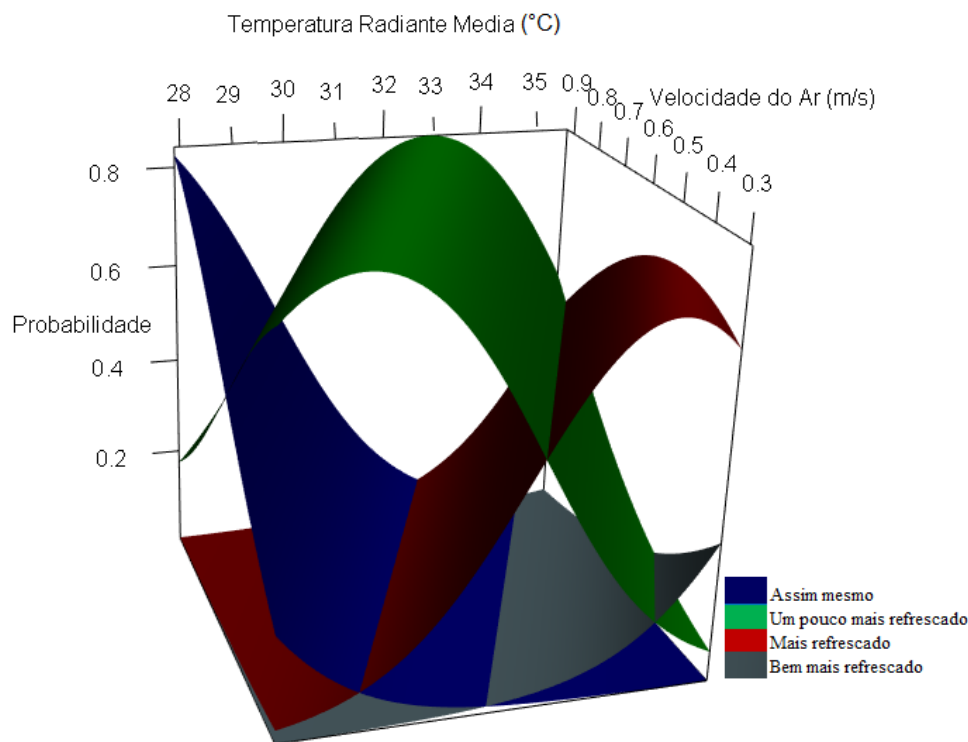
A curva dos motoristas relacionada à classe “assim mesmo” do Gráfico 20, indica que sua probabilidade de ocorrência aumenta para valores de  $t_a < 28^\circ\text{C}$ . Já a curva de preferência “um pouco mais refrescado” tem uma probabilidade alta para valores entre  $28^\circ\text{C} \leq t_a \leq 32^\circ\text{C}$ .

Ainda no Gráfico 20, o voto de preferência térmica “mais refrescado” tem uma alta probabilidade de ser assinalado para o intervalo de  $32^\circ\text{C} \leq t_a \leq 34^\circ\text{C}$ . Já a

curva de “bem mais refrescado” indica que, quando  $ta > 34^{\circ}\text{C}$ , crescem as chances dos condutores apontá-la.

No Gráfico 21, é possível examinar as curvas de probabilidade geradas pelo modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo3.2”.

**Gráfico 21 – Curvas de probabilidade das preferências térmicas de mlo3.2**



Fonte: Autoria própria (2022)

As curvas do modelo “mlo3.2” para o voto de preferência térmica em função dos parâmetros ambientais: temperatura radiante média e velocidade do ar, podem ser visualizadas no Gráfico 21. Nesse gráfico, verifica-se as preferências térmicas mais prováveis de serem selecionadas pelos motoristas para diferentes valores de “trm”, em conjunto com “va”, de acordo com as condições de levantamento desta pesquisa.

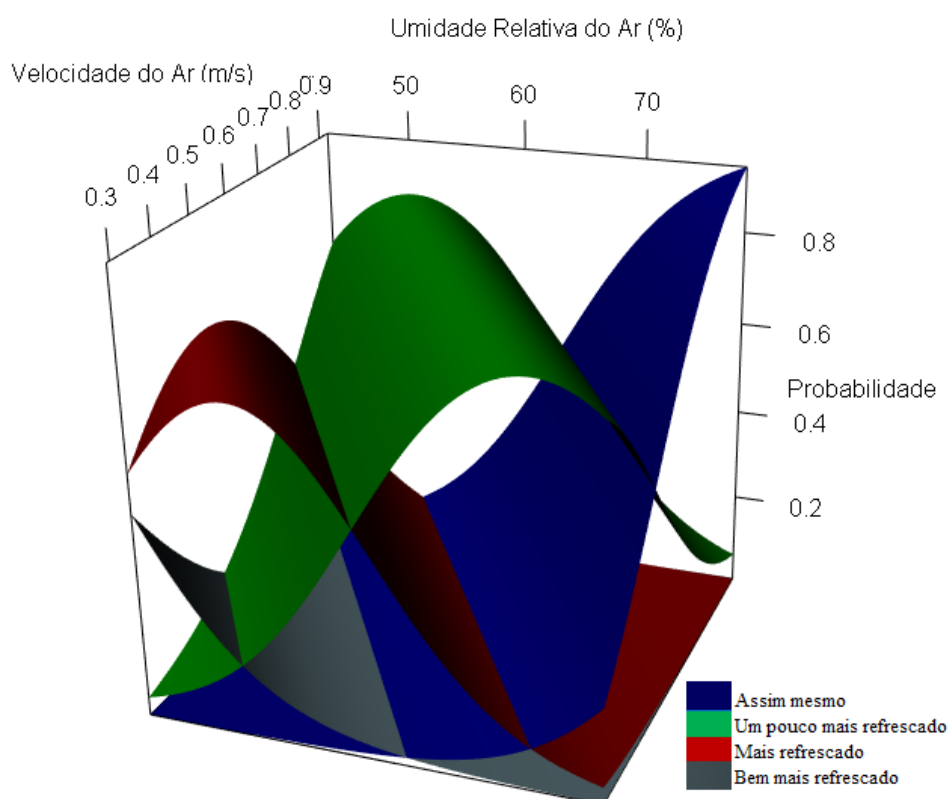
No Gráfico 21, nota-se que para a combinação de valores de  $trm < 30^{\circ}\text{C}$  com  $va > 0,8\text{m/s}$ , há uma alta probabilidade dos motoristas assinalarem a preferência de “assim mesmo”. Para a combinação de intervalos de valores de  $30^{\circ}\text{C} \leq trm \leq 34^{\circ}\text{C}$  com  $0,5\text{m/s} \leq va \leq 0,8\text{m/s}$ , começam a aumentar as chances dos condutores dizerem que preferem estar “um pouco mais refrescados”.

Ainda no Gráfico 21, valores da temperatura radiante média entre  $34^{\circ}\text{C} \leq trm \leq 35^{\circ}\text{C}$ , associados com os da velocidade entre  $0,4\text{m/s} \leq va \leq 0,5\text{m/s}$ , há grandes chances dos votos de preferência serem caracterizados como “mais

refrescado”. Já a combinação de  $trm > 35^{\circ}\text{C}$  e  $va < 0,4\text{m/s}$ , começam a aumentar as chances dos condutores escolherem a classe “bem mais refrescado”.

As curvas de probabilidade geradas pelo modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo5.2” para o voto de preferência térmica, podem ser observadas no Gráfico 22.

**Gráfico 22 – Curvas de probabilidade das preferências térmicas de mlo5.2**



Fonte: Autoria própria (2022)

As curvas do modelo “mlo5.1” para os votos de preferência térmica, em função dos parâmetros ambientais: umidade relativa do ar e velocidade do ar, podem ser visualizadas no Gráfico 22. Visualizando o mesmo gráfico, verifica-se as preferências térmicas mais prováveis de ocorrerem para diferentes valores de “ur” e “va”.

Observa-se no Gráfico 22 que para valores de  $ur > 70\%$ , em conjunto com valores de  $va > 0,7\text{m/s}$ , há uma alta probabilidade dos motoristas preferirem estar na classe “assim mesmo”. Para a combinação de intervalos de valores de  $5\% \leq ur \leq 70\%$  e  $0,5\text{m/s} \leq va \leq 0,7\text{m/s}$ , é alta a chance dos condutores preferirem a classe “um pouco mais refrescado”. Já a combinação de intervalos de  $45\% \leq ur \leq 55\%$  com  $0,3\text{m/s} \leq va \leq 0,5\text{m/s}$ , há uma alta probabilidade de ser assinalada a classe de

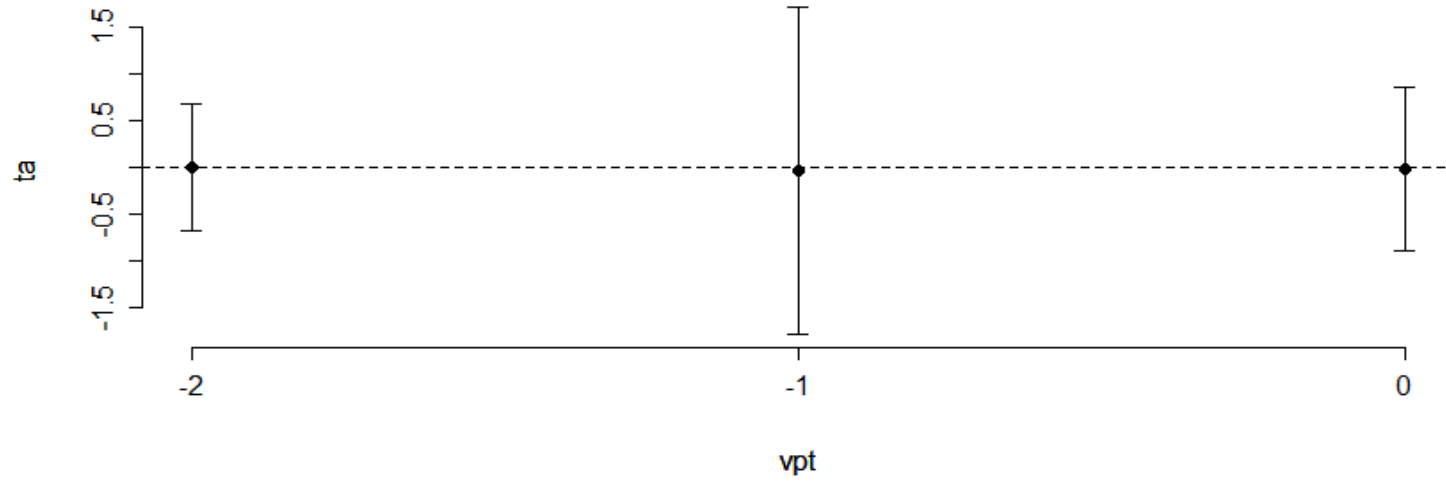
preferência térmica “mais refrescado” e quando  $ur < 45\%$  e  $va < 0,3$ , crescem as chances dos motoristas escolherem a classe “bem mais refrescado”.

As afirmações das probabilidades ou razões de chances inferidas dos modelos ajustados “mlo1.2”, “mlo3.2” e “mlo5.2” só serão válidas se forem verificadas as qualidades dos ajustes desses modelos.

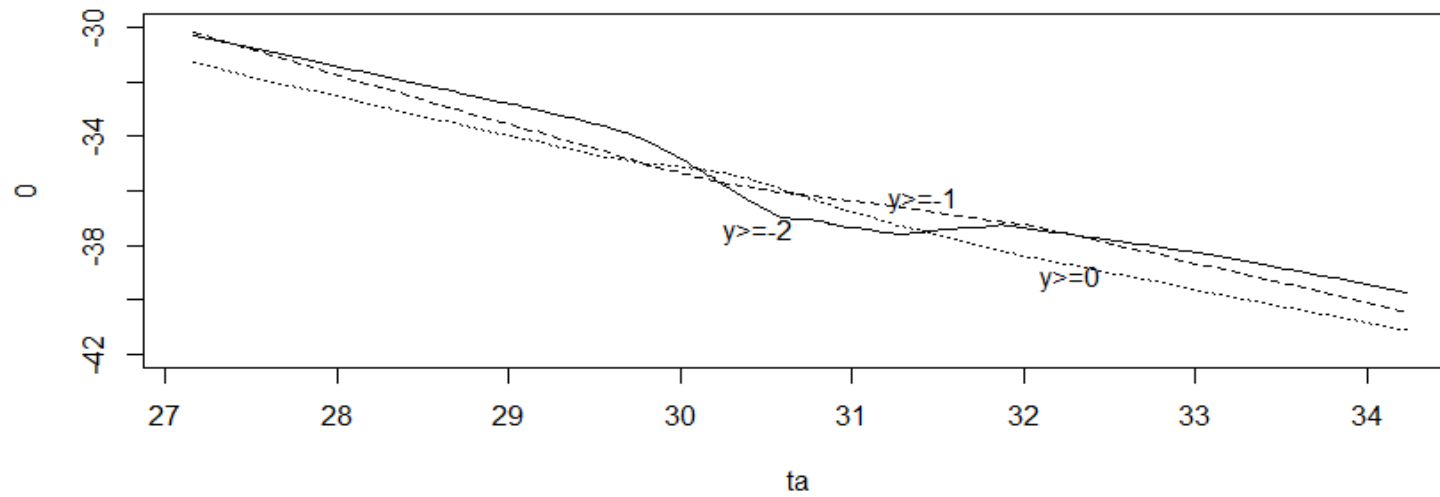
Os primeiros indícios de qualidades já foram relatados, tendo por base a Tabela 19, e demonstraram por meio dos testes de Pearson e *deviance* que, há possibilidade desses modelos representarem parte da variabilidade do voto de preferência térmica em função de suas respectivas variáveis significativas. No entanto, buscou-se aprofundar a validação de seus modelos ajustados pelas observações dos resíduos escores e parciais, que estão presentes nos Gráficos 23, 24 e 25.



Gráfico 23 – Resíduos escores e parciais da variável de mlo1.2



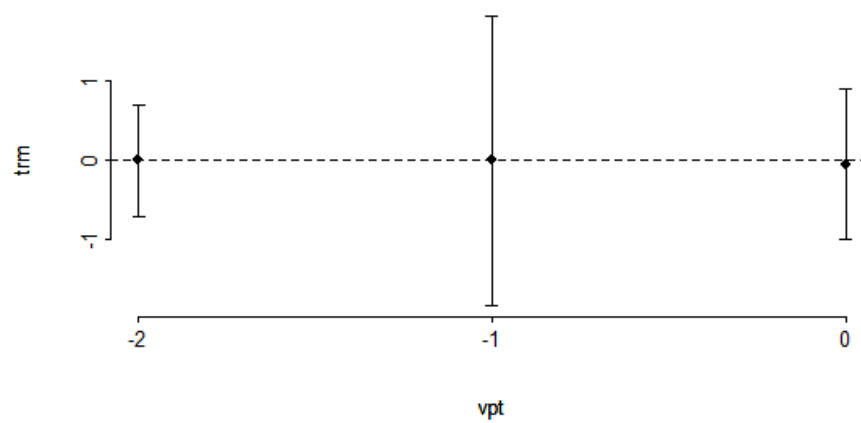
(a) Gráfico de resíduos escores para a temperatura do ar



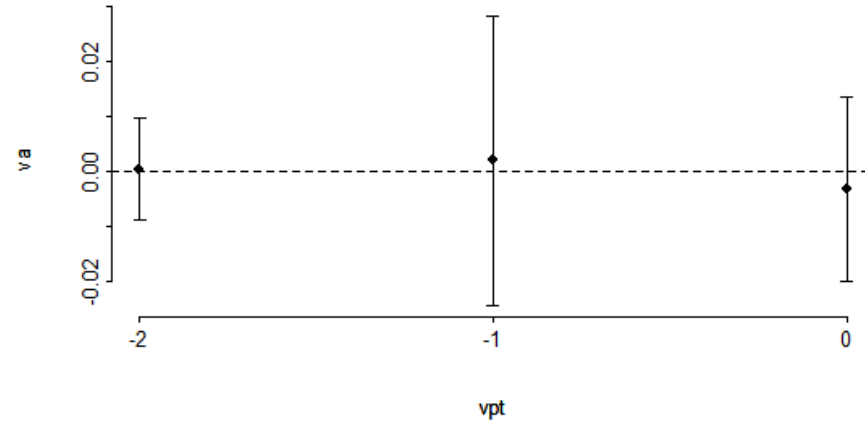
(b) Gráfico de resíduos parciais para a temperatura do ar

Fonte: Autoria própria (2022)

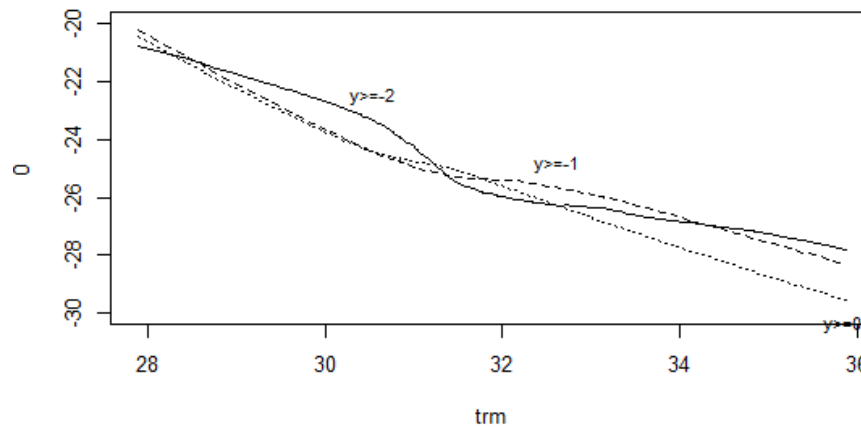
Gráfico 24 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo3.2



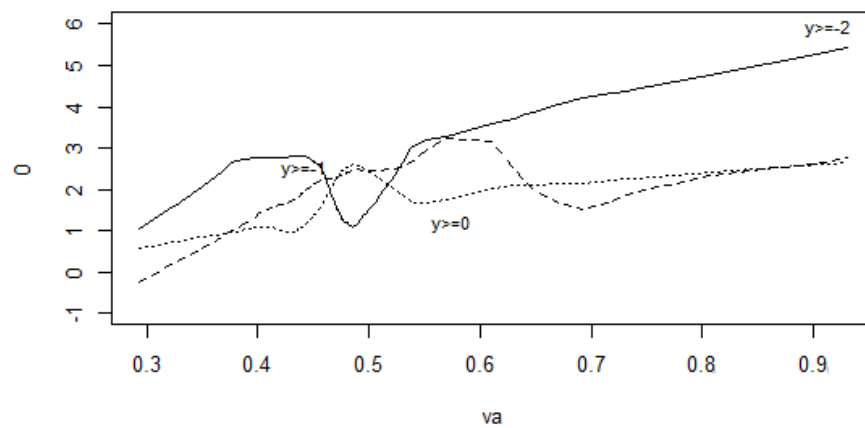
(a) Gráfico de resíduos escores para a temperatura radiante média



(b) Gráfico de resíduos escores para a velocidade do ar



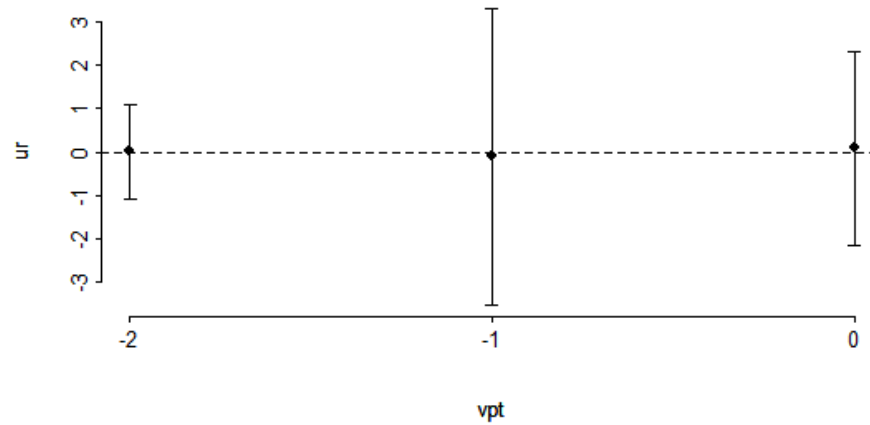
(c) Gráfico de resíduos parciais para a temperatura radiante média



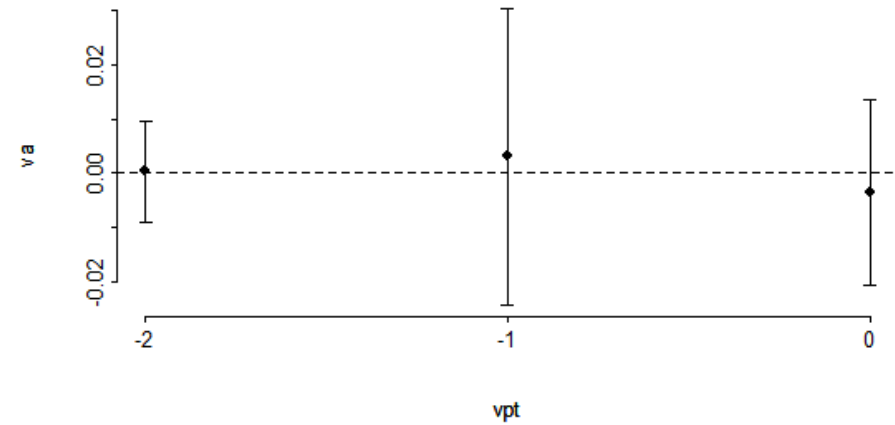
(d) Gráfico de resíduos parciais para a velocidade do ar

Fonte: Autoria própria (2022)

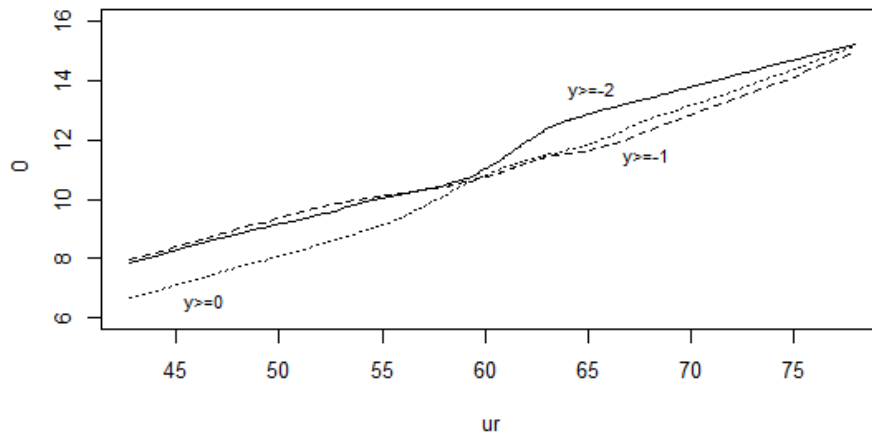
Gráfico 25 – Resíduos escores e parciais das variáveis de mlo5.2



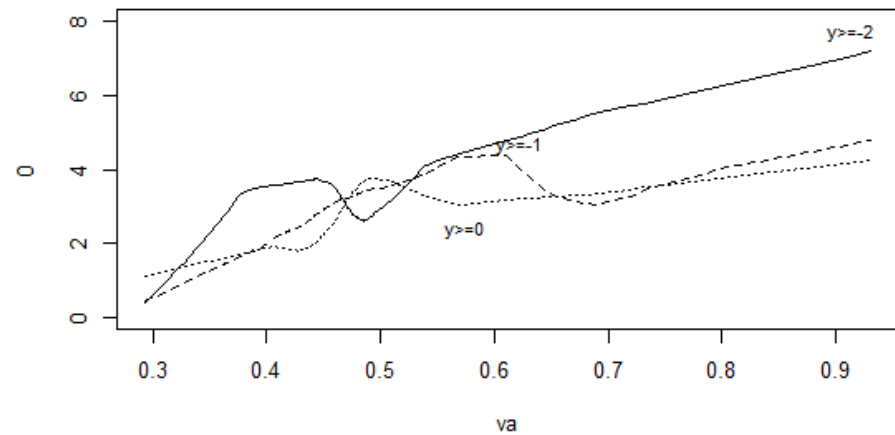
(a) Gráfico de resíduos escores para a umidade relativa do ar



(b) Gráfico de resíduos escores para a velocidade do ar



(c) Gráfico de resíduos parciais para a umidade relativa do ar



(d) Gráfico de resíduos parciais para a velocidade do ar

Fonte: Autoria própria (2022)

Os Gráficos 23, 24 e 55 apresentam os resíduos escores e parciais para as variáveis independentes significativas dos modelos  $mlo1.2$ ,  $mlo3.2$  e  $mlo5.2$ , respectivamente. Conforme as ilustrações (a) dos três gráficos citados e as ilustrações (b) dos Gráficos 24 e 25, nota-se que os comportamentos esperados das classes são horizontais constantes e com as médias próximas de zero.

Atentando para os resíduos parciais das ilustrações (d) dos Gráficos 24 e 25, percebe-se que a velocidade do ar não é um bom previsor para o voto de preferência térmica, visto que as retas das classes desse voto não apresentam um comportamento linear e paralelo. Já as qualidades dos ajustes das classes são bem melhores para as variáveis “ $ta$ ”, “ $trm$ ” e “ $ur$ ”, representadas na ilustração (b) do Gráfico 23 e nas ilustrações (c) dos Gráficos 24 e 25, respectivamente. Entretanto, para faixa de valores de  $30^{\circ}\text{C} \leq ta \leq 32^{\circ}\text{C}$ ,  $31^{\circ}\text{C} \leq trm \leq 33^{\circ}\text{C}$  e  $55\% \leq ur \leq 65\%$ , observa-se um mau ajuste de previsibilidade das categorias desse voto pela falta de linearidade e paralelismo das retas.

No geral, as declarações feitas nas curvas de probabilidade dos Gráficos 20, 21 e 22 podem não representar bem o comportamento dos votos de preferência térmica dos motoristas de ônibus, mas isso já era esperado devido aos poderes explicativos desses modelos, os quais foram mencionados nas discussões da Tabela 19.

### 4.3 Análise dos índices de conforto térmico

Esta subseção objetiva verificar se os índices *Predicted Mean Vote* (PMV) e temperatura equivalente ( $teq$ ) podem ser considerados previsores do voto de sensação térmica ( $vst$ ) dos motoristas de ônibus.

Para atingir esse objetivo específico, utilizou-se a metodologia de Modelo Lineares Generalizados, por meio da Regressão Logística Ordinal, o que resultou nos modelos das Equações 29 e 30.

$$mlo1.3 = lrm(vst \sim pmv, data = x, y = TRUE, x = TRUE) \quad (24)$$

$$mlo2.3 = lrm(vst \sim teq, data = x, y = TRUE, x = TRUE) \quad (25)$$

Como é possível notar, nas Equações 29 e 30, os modelos  $mlo1.3$  e  $mlo2.3$  foram propostos por meio da função “ $lrm$ ” da Regressão Logística Ordinal, visto que

a variável dependente (vst) é de natureza categórica e ordinal, e as variáveis independentes “PMV” e “teq” são contínuas.

#### 4.3.1 Predicted mean vote (PMV)

Nesta pesquisa, o índice PMV foi calculado individualmente para as 180 observações, por meio da ferramenta CBE Thermal Comfort Tool, que se baseia pela equação de Fanger, e tem como entradas os 4 parâmetros ambientais ( $t_a$ ,  $t_{rm}$ ,  $u_r$  e  $v_a$ ) e os 2 pessoais ( $I_{clo}$  e  $M$ ). Contudo, sabe-se que esse índice é um valor contínuo que geralmente é aproximado e associado à escala de sensação térmica de 7 pontos. Por sua vez, e como já mencionada na subseção 4.2.1, essa escala de sensação é uma variável categórica e ordinal que inclui os valores de -3, -2, -1, 0, +1, +2 e +3 e corresponde aos votos de sensação térmica “muito frio”, “frio”, “levemente com frio”, “neutro”, “levemente com calor”, “calor” e “muito calor”, respectivamente.

A Tabela 20 apresenta os valores dos índices de “PMV” para as 180 observações desta pesquisa.

**Tabela 20 – Quantitativo dos índices *Predicted Mean Vote* calculados**

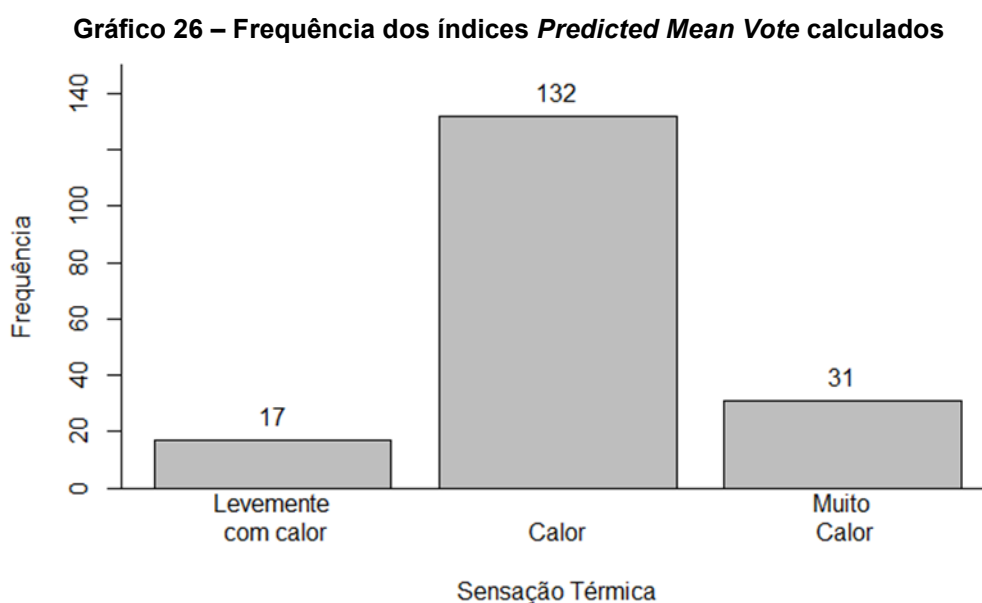
Variáveis	<i>Predicted Mean Vote</i>		
	Levemente com calor	Calor	Muito calor
Geral	17	132	31
2ª viagem	2	40	18
4ª viagem	3	44	13
5ª viagem	12	48	0
Motorista 1 (viag 2)	0	19	1
Motorista 1 (viag 4)	1	15	14
Motorista 1 (viag 5)	1	19	0
Motorista 2 (viag 2)	2	18	0
Motorista 2 (viag 4)	0	11	9
Motorista 2 (viag 5)	1	19	0
Motorista 3 (viag 2)	0	3	17
Motorista 3 (viag 4)	2	18	8
Motorista 3 (viag 5)	10	10	0

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Na Tabela 20, verifica-se os PMV calculados individualmente e, no geral, indicam que os ambientes das cabines dos motoristas de ônibus analisados podem ser caracterizados como desconfortáveis termicamente por “calor”. Vale ressaltar que os valores da tabela citada foram aproximados a valores inteiros e iguais aos da escala de sensação térmica.

Ainda de acordo com a Tabela 20, observa-se que as três viagens têm uma frequência maior da sensação térmica na escala de calor, no entanto, a 5ª viagem possui 12 ocorrências na escala de levemente com calor e nenhuma na de muito calor, o que a torna a viagem mais agradável com relação ao PMV. Grande parte desse fato observado pode estar atribuído à 5ª viagem do motorista 3, que pode ser considerada a viagem mais amena, dentre todas as outras dele e dos outros motoristas.

O Gráfico 26 expõe a frequência de dados dos índices *Predicted Mean Vote* calculados individualmente.



Fonte: Autoria própria (2022)

O Gráfico 26 ratifica o que foi afirmado com relação à Tabela 23, em que os ambientes das cabines dos motoristas de ônibus analisados podem ser caracterizados como termicamente desconfortáveis por “calor”.

A Tabela 21 expõe o mlo1.3 com os valores dos coeficientes das classes e do “PVM”, assim como os valores dos testes estatísticos executados.

**Tabela 21 – Modelagem do “vst” em função do *Predicted Mean Vote***

Modelo	Variável	Coeficiente	p_valor Z	p_valor $\chi^2$	Pseudo R2
	PMV	5,7753	0,0001		
mlo1.3	$y \geq 3$	-14,7689	0,0001	0,0001	0,630
	$y \geq 2$	-10,9122	0,0001		
	$y \geq 1$	-6,7996	0,0001		

Fonte: Autoria própria (2022)

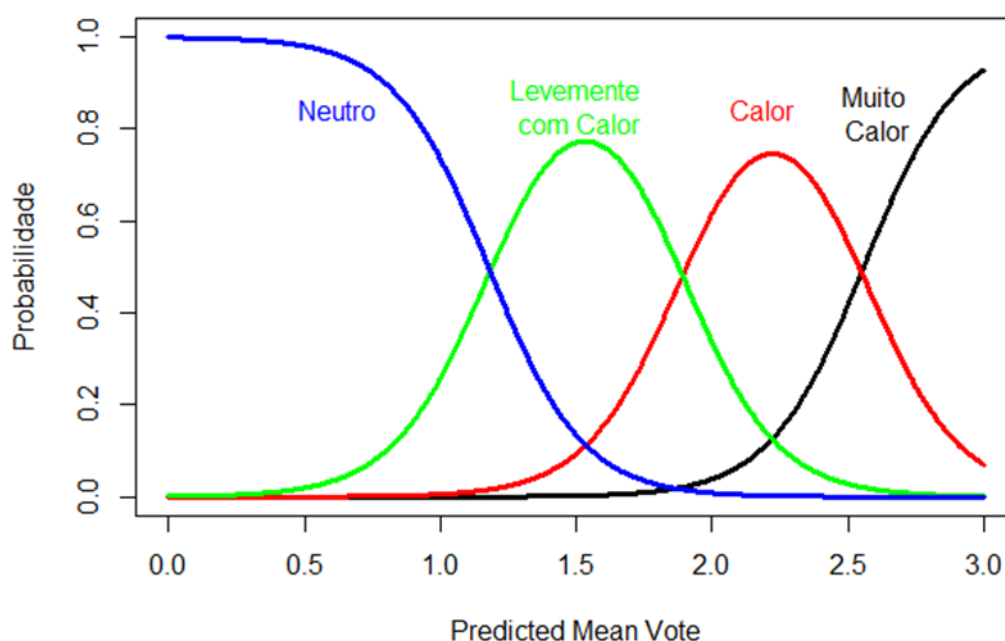
Os resultados dos testes estatísticos do modelo da sensação térmica em função do “PVM”, apresentados na Tabela 21, indicam que o mlo1.3 tem um poder

excelente de previsibilidade devido ao valor do Pseudo  $R^2=0,63$  ser maior que 0,4. Além disso, o teste da razão de verossimilhança  $p\_valor \chi^2=0,0001$  indica que é possível obter um modelo com essa variável independente (PMV) e que represente boa parte das variações da variável dependente (vst). Sendo assim, o mlo1.3 pode ser útil para investigar especificamente a natureza da relação entre a sensação térmica e o *Predicted Mean Vote*.

Ainda na Tabela 21, verifica-se os resultados dos testes de Wald. Eles indicam que a variável independente, assim como as classes de sensação térmica, são estatisticamente significativas, pois os valores dos  $p\_valor$  Z foram inferiores ao nível de significância  $\alpha=0,05$ .

O Gráfico 27 traz as curvas de probabilidade do modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo1.3”.

**Gráfico 27 – Curvas de probabilidade da sensação térmica de mlo1.3**



Fonte: Autoria própria (2022)

No Gráfico 27 é possível visualizar as curvas do modelo “mlo1.3” para os votos de sensações térmicas “neutro”, “levemente com calor”, “calor” e “muito calor”. Com base nesse gráfico, é possível verificar as sensações térmicas mais prováveis de ocorrerem para valores do *Predicted Mean Vote* de 0 a +3.

A situação hipoteticamente perfeita (Pseudo  $R^2=1$ ) seria se os picos das curvas de probabilidade das sensações térmicas coincidisse com os valores do “PMV” da seguinte forma: para “neutro”,  $PMV=0$ ; para “levemente com calor”,

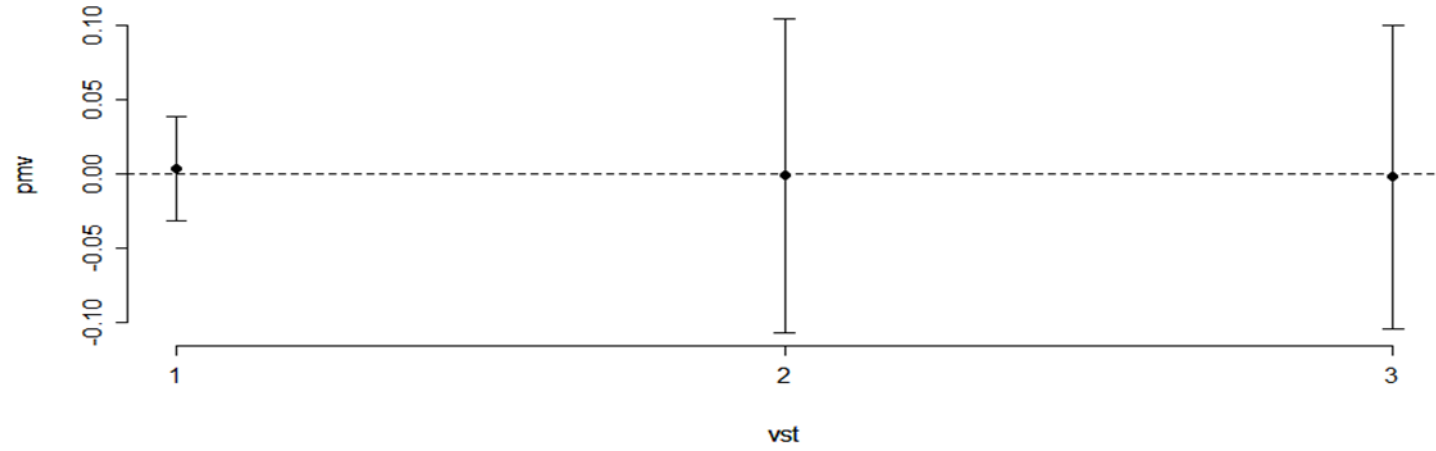
PMV=1; para “calor”, PMV=2; e para “muito calor”, PMV=3. No entanto, os valores dos “PMV” dos picos das curvas presentes no Gráfico 27 estão superfaturados em comparação com os valores hipotéticos e supostamente perfeitos, salvo o da curva de probabilidade da sensação térmica de “muito calor” que, aparentemente, seu pico está coincidindo com o 3. Dentre os picos mais deslocados, pode-se destacar os de “neutro” e “levemente com calor”, cujos deslocamentos estão superfaturados, próximos de 0,5 dos seus respectivos “PMV” hipotéticos.

Em tese, tendo por base a Tabela 21, o Gráfico 27 e as condições desta pesquisa de campo, pode-se dizer que o *Predicted Mean Vote* é um previsor excelente da sensação térmica e que ele, por vez, superestima em torno de 0,5 para mais, a sensação térmica dos motoristas de ônibus.

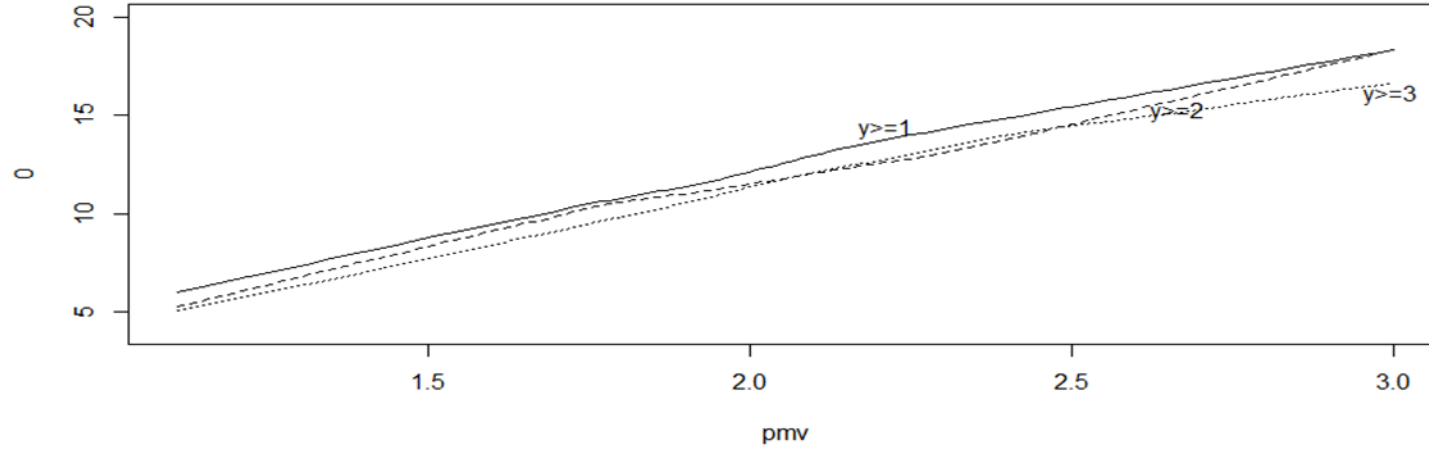
Além desses resultados dos testes e visual apontados até o momento, a pesquisa buscou validar o modelo de Regressão Logística Ordinal mlo1.3, por meio dos resíduos escores e parciais que estão presentes no Gráfico 28.



Gráfico 28 – Resíduos escores e parciais do mlo1.3



(a) Gráfico de resíduos escores para o *predicted mean vote*



(b) Gráfico de resíduos parciais para o *predicted mean vote*

Fonte: Autoria própria (2022)

O Gráfico 28 apresenta duas ilustrações referentes aos resíduos escores e parciais para o índice PMV do modelo ajustado “mlo1.3”.

De acordo com a ilustração (a) do Gráfico 28, nota-se a tendência do comportamento esperado das classes de sensação térmica ser horizontal constante e com as médias próximas de zero. Com isso, reforça a inferência feita dos resultados dos testes de Wald para as classes citadas da sensação térmica na Tabela 21 e validam as afirmações feitas nas curvas de probabilidade do Gráfico 27.

Com relação aos resíduos parciais presentes na ilustração (b) do Gráfico 28, visualiza-se que a suposição de linearidade não pode ser rejeitada para as classes do voto de sensação térmica alcançadas por esta pesquisa. Ademais, pode-se inferir que o modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo1.3”, cuja variável independente “PMV” se mostrou significativa, é um preditor razoável para a sensação térmica, pois a suposição de paralelismo pode ser considerada razoável para as sensações.

#### 4.3.2 Temperatura equivalente (teq)

O índice “teq” foi calculado para as 180 observações, por meio da Equação 9 que é em função de 3 parâmetros ambientais ( $t_a$ ,  $t_{rm}$  e  $v_a$ ) e do parâmetro pessoal ( $I_{clo}$ ).

A ISO 14505-2 (2006) apresenta em seu anexo D, dois gráficos (um refere-se a zona de conforto para o verão e o outro para o inverno) utilizados para a interpretação da “teq”, em termos de percepção da sensação térmica e conforto térmico. Nesses gráficos, a temperatura equivalente pode ser associada à uma escala de 5 pontos, que inclui os valores de 1, 2, 3, 4 e 5, correspondendo aos votos de percepção da sensação térmica “muito frio”, “frio, mas confortável”, “neutro”, “quente, mas confortável” e “muito quente”, respectivamente.

Dessa forma, os votos de sensação térmica levantados foram adaptados para a escala de 5 pontos da ISO 14505-2 (2006) da seguinte forma: os votos da classe “neutro” (0) foram atribuídos ao “neutro” (3); os votos “levemente com calor” (+1) e “calor” (+2) foram substituídos pelo “quente mas confortável” (4); e os votos “muito calor” (+3) foram associados ao “muito quente” (5).

A Tabela 22 expõe os votos de percepção da sensação térmica para as 180 observações desta pesquisa.

**Tabela 22 – Quantitativo dos votos de percepção da sensação térmica**  
**Percepção da sensação térmica**

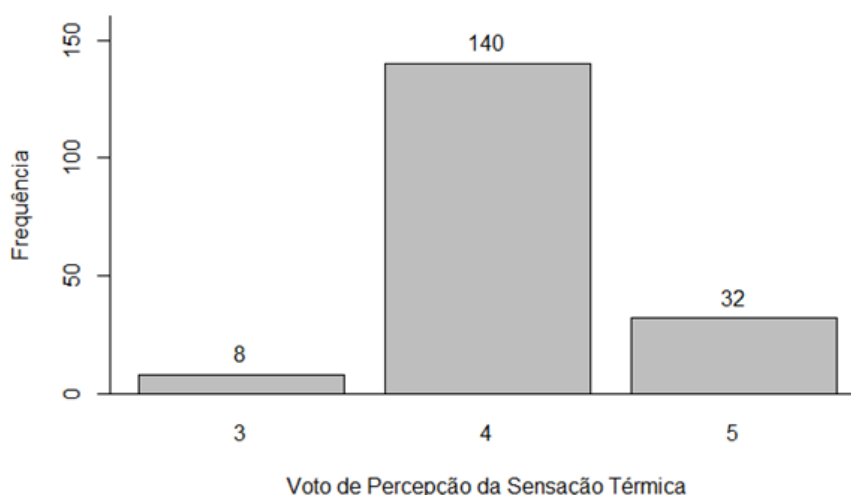
Variáveis	Percepção da sensação térmica		
	Neutro	Quente mas confortável	Muito quente
Geral	8	140	32
2ª viagem	3	40	17
4ª viagem	1	45	14
5ª viagem	4	55	1
Motorista 1 (viag 2)	-	15	5
Motorista 1 (viag 4)	1	13	6
Motorista 1 (viag 5)	1	19	-
Motorista 2 (viag 2)	3	16	1
Motorista 2 (viag 4)	-	13	7
Motorista 2 (viag 5)	-	19	1
Motorista 3 (viag 2)	-	9	11
Motorista 3 (viag 4)	-	19	1
Motorista 3 (viag 5)	3	17	-

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 22, verifica-se os dados dos votos de percepção da sensação térmica adaptados dos votos de sensação térmica levantados pelos questionários e, no geral, indicam que os ambientes das cabines dos motoristas de ônibus analisados podem ser caracterizados como “quente mas confortável”. Além disso, observa-se que as três viagens acompanham essa tendência geral.

O Gráfico 29 apresenta a frequência dos votos de percepção da sensação térmica levantados na pesquisa.

**Gráfico 29 – Frequência dos votos de percepção da sensação térmica**



Fonte: Autoria própria (2022)

O Gráfico 29 ratifica o que foi inferido da Tabela 25, em que os ambientes das cabines dos motoristas de ônibus analisados podem ser caracterizados como “quente, mas confortáveis”.

A Tabela 23 apresenta o resultado da modelagem do mlo2.3 com os valores dos coeficientes das classes e de “teq”, assim como os valores dos testes estatísticos executados.

**Tabela 23 – Modelagem do “vst” em função da temperatura equivalente**

Modelo	Variável	Coefficiente	p_valor Z	p_valor $\chi^2$	Pseudo R2
	teq	1,5089	<0,0001		
mlo2.3	y≥4	-40,3800	<0,0001	<0,0001	0,631
	y≥5	-49,2019	<0,0001		

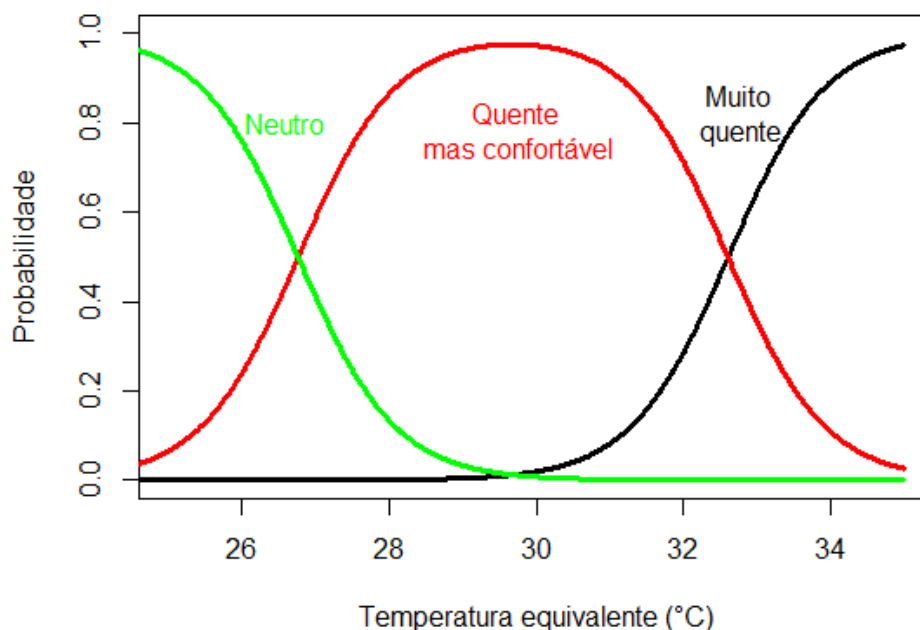
**Fonte: Autoria própria (2022)**

Os resultados dos testes estatísticos do modelo dos votos de percepção da sensação térmica em função do “teq” apresentado na Tabela 23, indicam que o mlo2.3 tem um poder explicativo excelente devido ao valor do Pseudo  $R^2=0,631$ . Ademais, o teste da razão de verossimilhança, cujo valor do p\_valor  $\chi^2=<0,0001$ , demonstra que é possível obter um modelo com a temperatura equivalente e que represente boa parte das variações dos votos de percepção da sensação térmica dos condutores de ônibus urbanos. Logo, o mlo2.3 pode ser útil para investigar especificamente a natureza da relação entre essas variáveis supracitadas.

Ainda na Tabela 23 verifica-se os resultados dos testes de Wald, em que eles indicam que a variável temperatura equivalente, assim como as classes do voto de percepção da sensação térmica observadas, são estatisticamente significativas devido aos valores dos p\_valor Z inferiores ao nível de significância  $\alpha=0,05$ .

Tendo por base os valores dos coeficientes da Tabela 26, foram geradas as curvas de chances proporcionais do modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo2.3”, e elas estão presentes no Gráfico 30.

Gráfico 30 – Curvas de probabilidade de mlo 2.3



Fonte: Autoria própria (2022)

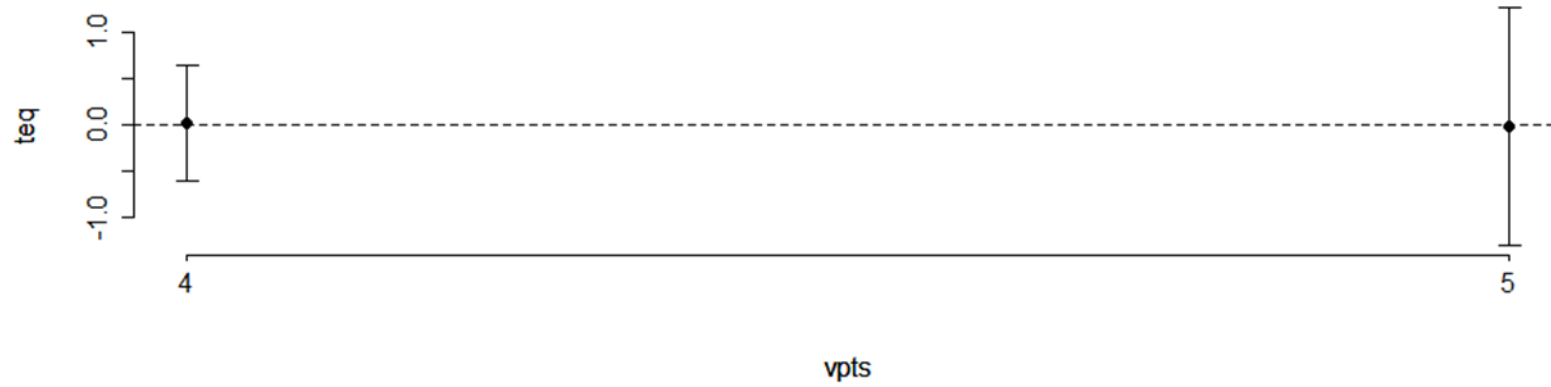
No Gráfico 30, visualiza-se as curvas do modelo “mlo2.3” para os votos de percepção das sensações térmicas “neutra”, “quente, mas confortável” e “muito quente”. Logo, é possível verificar que os votos são mais prováveis de ocorrerem para diferentes valores da temperatura equivalente.

Ainda no Gráfico 30, as chances dos motoristas escolherem o voto de percepção da sensação térmica “neutro” são grandes, para valores de  $teq < 27^{\circ}\text{C}$ . Para o intervalo de  $27^{\circ}\text{C} \leq teq \leq 33^{\circ}\text{C}$ , há uma grande probabilidade do voto “quente mas confortável” ser escolhido pelos condutores, e quando  $teq > 33^{\circ}\text{C}$ , o voto “muito quente” tem uma chance alta de ser apontado.

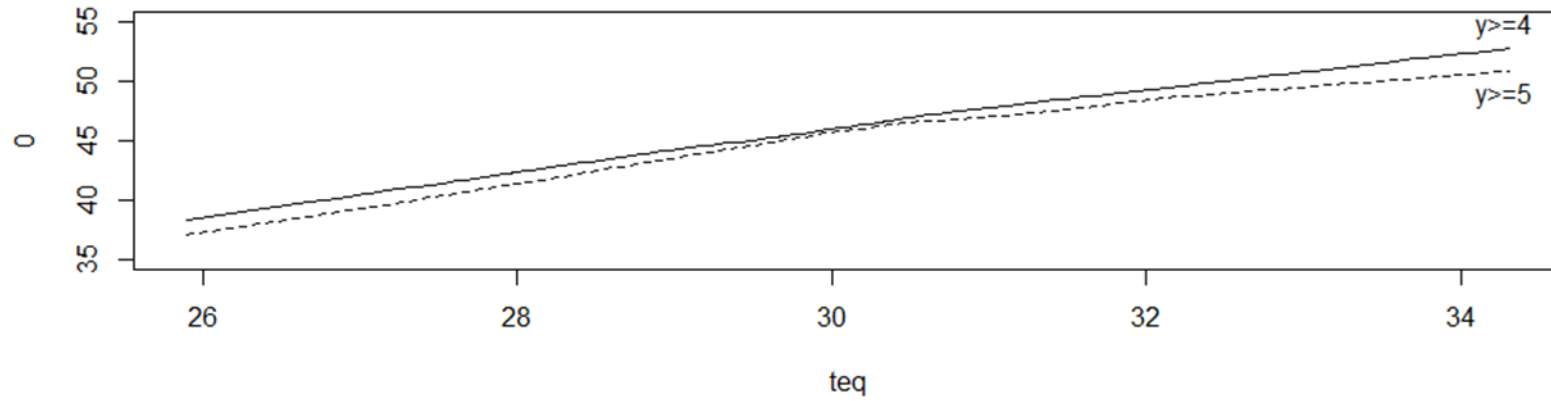
No geral, tendo por base o Pseudo  $R^2$  da Tabela 26, o Gráfico 30 e as condições do levantamento dos dados desta pesquisa, pode-se dizer que o índice temperatura equivalente da ISO 14505-2 (2006) pode ser considerado um previsor da percepção da sensação térmica dos motoristas de ônibus urbanos. No entanto, essa inferência só será verdadeira se os resíduos escores e parciais do modelo de Regressão Logística Ordinal mlo2.3 forem validados.

O Gráfico 31 apresenta os resíduos escores e parciais do mlo2.3.

Gráfico 31 – Resíduos escores e parciais de mlo2.3



(a) Gráfico dos resíduos escores para a temperatura equivalente



(b) Gráfico dos resíduos parciais para a temperatura equivalente

Fonte: Autoria própria (2022)

As ilustrações (a) e (b) presentes no Gráfico 31 são referentes aos resíduos escores e parciais do modelo ajustado mlo2.3 em função da temperatura equivalente, respectivamente.

Na ilustração (a) do Gráfico 31, nota-se a tendência do comportamento esperado dos votos “quente, mas confortável” e “muito quente” ser horizontal constante e com as médias próximas de zero, para “teq”. Isso reforça a inferência feita em função dos resultados dos testes de Wald para as classes citadas na Tabela 23 e validam as afirmações feitas nas curvas do Gráfico 30.

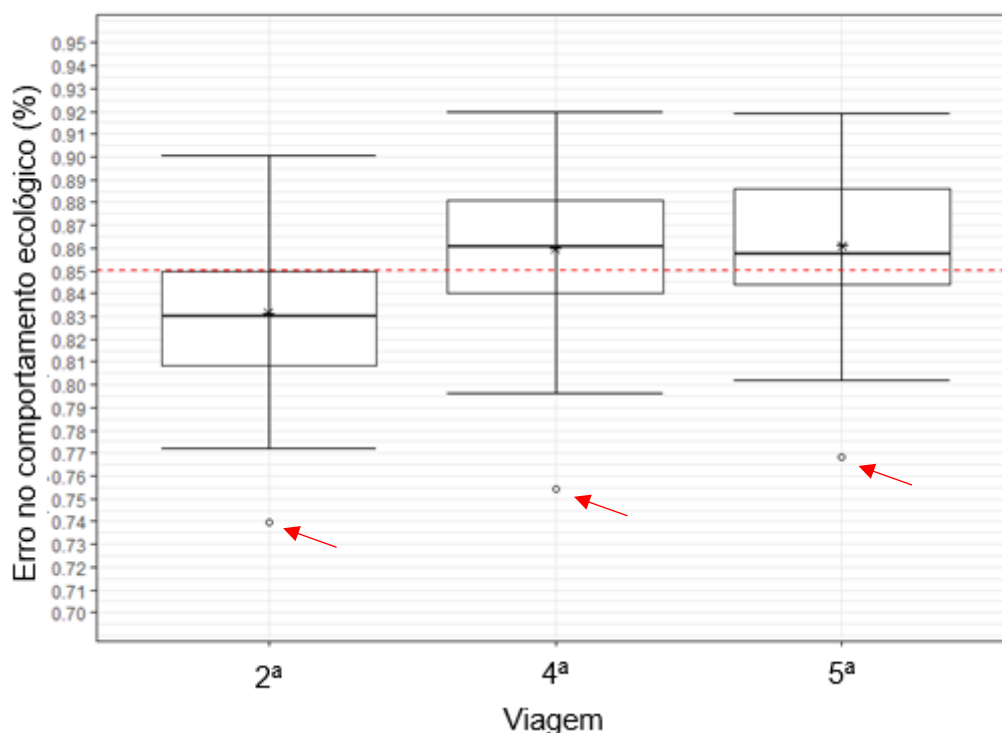
No tocante aos resíduos parciais presentes na ilustração (b) do Gráfico 31, visualiza-se que a suposição de linearidade não pode ser rejeitada para as classes dos votos de percepção da sensação térmica alcançadas por esta pesquisa. Além disso, pode-se inferir que o modelo de Regressão Logística Ordinal “mlo2.3”, cuja variável independente “teq” se mostrou significativa, pode ser um previsor do voto de percepção da sensação térmica, pois a suposição de paralelismo pode ser observada para os votos (4 e 5), durante toda a extensão da temperatura equivalente.

#### 4.4 Modelagem do erro no comportamento ecológico

O erro no comportamento ecológico dos motoristas de ônibus observado nesta pesquisa está conectado com a proporção do tempo que os motoristas mantêm a velocidade do ônibus fora dos limites de velocidade de cruzeiro ideal, de  $35\text{km/h} \leq v_e \leq 50\text{km/h}$ . As velocidades dos ônibus foram mensuradas em tempo real e paralelamente aos dados do conforto térmico, ao longo das 180 observações.

A variável dependente utilizada na modelagem, definida como erro no comportamento ecológico ( $Er$ ), foi analisada a partir das seguintes variáveis independentes: temperatura do ar ( $ta$ ); temperatura radiante média ( $trm$ ); velocidade do ar ( $va$ ); umidade relativa do ar ( $ur$ ); taxa metabólica ( $M$ ); isolamento térmico da vestimenta ( $Iclo$ ); voto de sensação térmica ( $vst$ ); *Predicted Mean Vote* ( $PMV$ ); e temperatura equivalente ( $teq$ ), isto é  $Er = f(ta, tm, va, ur, M, Iclo, PMV, vst, teq)$ .

Diante disso, à princípio verificou-se o comportamento da variável dependente deste estudo, a fim de encontrar pontos de *outliers* que possam interferir nos resultados da modelagem, e esse comportamento pode ser observado no Gráfico 32.

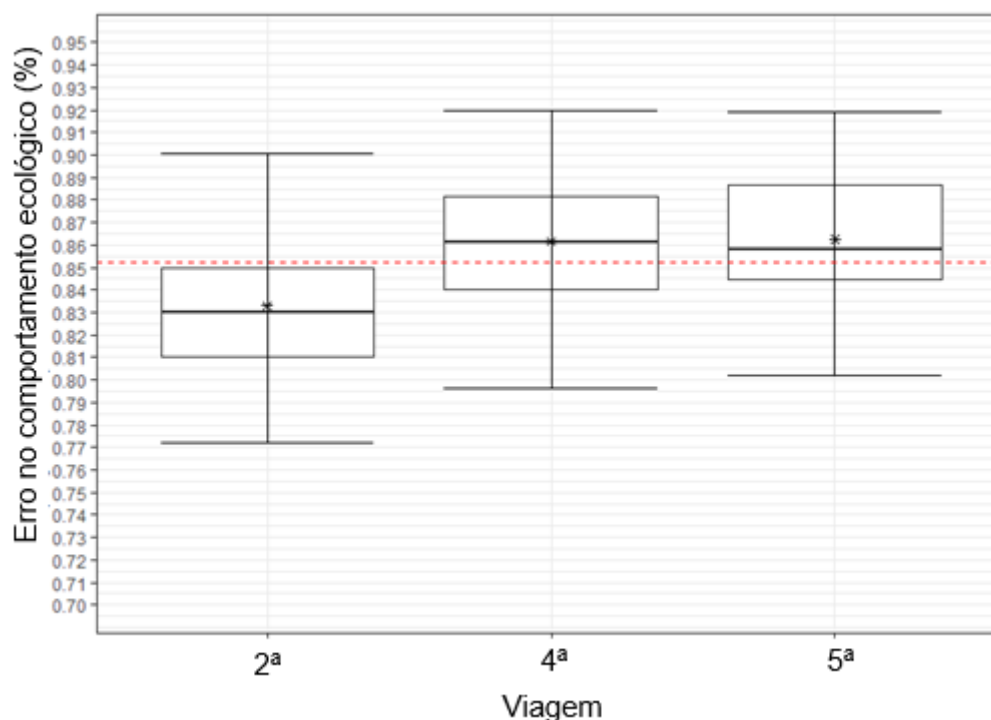
**Gráfico 32 – Boxplot do erro no comportamento ecológico com outliers**

Fonte: Autoria própria (2022)

No Gráfico 32, é possível identificar, no mínimo, 3 pontos de *outliers* que aparecem em forma de círculos vazados, na parte inferior das caixas, nas três viagens observadas durante o levantamento, e apontados pelas setas em vermelho.

Dessa forma, foram identificadas 3 observações (1ª, 129ª e 155ª) consideradas *outliers* e retiradas da amostra inicial. O resultado do comportamento da variável dependente sem os pontos de *outliers* está no Gráfico 33.



Gráfico 33 – *Boxplot* do erro no comportamento ecológico sem *outliers*

Fonte: Autoria própria (2022)

No Gráfico 33, verifica-se que não há mais pontos de *outliers* e, com isso, a pesquisa seguiu-se com a análise das estatísticas descritivas da variável dependente, e o resultado está presente na Tabela 24.

Tabela 24 – Estatísticas descritivas do erro no comportamento ecológico

Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor mínimo	Valor máximo
Er	0,85	0,85	0,03	0,77	0,92
V(km/h)	24,40	24,40	1,17	21,33	27,10

Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 24 exhibe os valores das medidas centrais e de dispersão das velocidades média (V) e do erro no comportamento ecológico (Er).

Ainda na Tabela 24, a proporção do tempo fora dos limites da velocidade de cruzeiro ideal é, em média, 85% do tempo total da rota. Como a duração média da viagem era de 80min, então a proporção média que os motoristas estavam fora dos limites de velocidade de cruzeiro era de 68min. Além disso, a média das velocidades médias dos ônibus foi de 24,40km/h, e a velocidade média máxima foi de 27,10km/h, as quais estão dentro dos limites permissíveis por lei em vias públicas (BRASIL, 2016).

Na modelagem de regressão é importante identificar se as variáveis independentes apresentam correlações fortes entre si, e as que apresentarem devem ser modeladas em modelos distintos. Diante disso, o resultado do teste de correlação de Spearman para as variáveis (ta, tm, va, ur, M, lclo, PMV, vst e teq) das condições térmicas levantadas nas cabines de ônibus urbano desta pesquisa, está presente na Tabela 25.

**Tabela 25 – Matriz de correlação das condições térmicas**

Variável	Variável								
	ta	trm	va	ur	lclo	M	PMV	vst	teq
ta	1	<b>0,97</b>	-0,26	<b>-0,85</b>	-0,11	0,17	<b>0,99</b>	<b>0,76</b>	<b>0,99</b>
trm	<b>0,97</b>	1	-0,27	<b>-0,85</b>	-0,11	0,17	<b>0,98</b>	<b>0,72</b>	<b>0,98</b>
va	-0,26	<b>-0,27</b>	1	0,1	0,12	-0,27	-0,31	<b>-0,28</b>	<b>-0,33</b>
ur	<b>-0,85</b>	<b>-0,85</b>	0,1	1	0,11	-0,11	<b>-0,83</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,85</b>
lclo	-0,11	-0,11	0,12	0,11	1	<b>-0,87</b>	-0,12	-0,08	-0,11
M	0,17	0,17	-0,27	-0,11	<b>-0,87</b>	1	0,19	0,09	0,18
PMV	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	-0,31	<b>-0,83</b>	-0,12	0,19	1	0,74	<b>0,99</b>
vst	<b>0,76</b>	<b>0,72</b>	-0,28	<b>-0,61</b>	-0,08	0,09	<b>0,74</b>	1	<b>0,75</b>
teq	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	-0,33	<b>-0,85</b>	-0,11	0,18	<b>0,99</b>	0,75	1

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 25, verifica-se a matriz do resultado do teste de correlação de Spearman. Nessa matriz, observa-se todas as possíveis variáveis independentes que se referem aos parâmetros ambientais das cabines dos ônibus urbano (temperatura do ar “ta”, temperatura radiante média “trm”, umidade relativa do ar “ur” e velocidade do ar “va”), aos parâmetros pessoais dos motoristas (isolamento térmico da vestimenta “lclo” e taxa metabólica “M”), aos índices que caracterizam as condições térmicas observadas (PMV e temperatura equivalente “teq”), e também à sensação térmica dos motoristas “vst”.

No geral, o resultado apresentado na matriz de correlação da Tabela 25 indica que existe correlação forte entre os seguintes dois grupos de variáveis: “lclo” com “M”; e “ta” com “trm”, “ur”, “teq”, “PMV” e “vst”.

Após a análise de correlação das variáveis independentes, a pesquisa se deteve em identificar uma distribuição que melhor represente o comportamento da variável dependente “Er”. Como citado anteriormente, sabe-se que “Er” é expressa em termos de proporção de tempo que os condutores não conseguem permanecer com a velocidade do ônibus dentro dos limites de velocidade de cruzeiro predefinidos e, dessa forma, a distribuição Beta, com a função “betareg” dos

Modelos Lineares Generalizados, é indicada para uma variável com a característica de proporção.

A análise dos dados seguiu-se com a geração de modelos iniciais e tendo como premissa a não inclusão de variáveis independentes com correlação forte em um mesmo modelo. Diante desse fato, à princípio desenvolveu-se um modelo genérico que está representado pela Equação 26.

$$mb_i = \text{betareg}(Er \sim A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n, \text{link} = "Z") \quad (26)$$

onde,

$mb_i$  = são os modelos de regressão beta,  $\forall i=1, 2, \dots$  e 12;

betareg = função dos modelos Beta da metodologia de Modelos Lineares Generalizados;

Er = erro no comportamento ecológico;

$X_N$  = variáveis independentes,  $\forall N=1, 2$  e 3;

$A_N$  = coeficientes das variáveis independentes,  $\forall N=1, 2$  e 3

Na Equação 26, o componente link="Z" diz respeito às possíveis funções de ligação (logit, probit, loglog e cloglog) em que a distribuição Beta pode assumir.

Devido aos conjuntos de variáveis com correlação forte, foi possível gerar 12 modelos para cada função de ligação citadas. Dessa forma, o procedimento de ajuste das variáveis independentes se deu em 48 modelos.

Para cada função de ligação e ao final dos ajustes, restaram 4 modelos distintos e representativos do comportamento ecológico dos motoristas em função das condições térmicas das cabines de ônibus urbano.

Contudo, o total de modelos representativos foram 16, e as variáveis independentes que não foram significativas desse total foram: umidade relativa do ar, isolamento térmico da vestimenta e a sensação térmica.

A Tabela 26 expõe os resultados dos ajustes feitos nos modelos do comportamento ecológico dos motoristas de ônibus desta pesquisa.

Tabela 26 – Modelos ajustados do erro no comportamento ecológico

Função de ligação	Modelo	Variável (coeficiente)	p_valor Z	Pseudo R <sup>2</sup>	p_valor $\chi^2$	
Logit	mb2	ta (-0,0314)	0,0143	0,135	<2e-16	
		M (-0,0111)	1,77 e-05			
	mb4	trm (-0,0263)	0,00805	0,141	<2e-16	
		M (-0,0109)	2,47 e-05			
	mb8	PMV (-0,1407)	0,0016	0,1608	<2e-16	
		va (-0,4551)	0,0392			
	mb12		M (-0,0121)	4,3 e-06	0,1551	<2e-16
			teq (-0,0299)	0,0032		
			va (-0,4544)	0,0411		
			M (-0,0123)	3,62 e-06		
	Probit	mb2	ta (-0,0171)	0,0143	0,1335	<2e-16
			M (-0,0061)	1,59 e-05		
mb4		trm (-0,0144)	0,0078	0,1393	<2e-16	
		M (-0,006)	2,18 e-05			
mb8		PMV (-0,0764)	0,0016	0,1588	<2e-16	
		va (-0,2496)	0,0395			
mb12			M (-0,0067)	3,81 e-06	0,1531	<2e-16
			teq (-0,0163)	0,0032		
			va (-0,2494)	0,0412		
			M (-0,0068)	3,12 e-06		
Loglog		mb2	ta (-0,0291)	0,0144	0,1357	<2e-16
			M (-0,0102)	1,87 e-05		
	mb4	trm (-0,0243)	0,0082	0,1418	<2e-16	
		M (-0,0100)	2,62 e-05			
	mb8	PMV (-0,1303)	0,0016	0,1619	<2e-16	
		va (-0,4185)	0,0393			
	mb12		M (-0,0112)	4,57 e-06	0,1561	<2e-16
			teq (-0,0276)	0,0033		
			va (-0,4177)	0,0412		
			M (-0,0113)	3,9 e-06		
	Cloglog	mb2	ta (-0,0139)	0,0144	0,1316	<2e-16
			M (-0,005)	1,4 e-05		
mb4		trm (-0,0117)	0,0076	0,1372	<2e-16	
		M (-0,0049)	1,89 e-05			
mb8		PMV (-0,0620)	0,0016	0,1561	<2e-16	
		va (-0,2050)	0,03999			
mb12			M (-0,0054)	3,32 e-06	0,1504	<2e-16
			teq (-0,0132)	0,0031		
			va (-0,2051)	0,0414		
			M (-0,0056)	2,62 e-06		

Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 26 apresenta os resultados dos ajustes dos modelos gerados inicialmente e suas respectivas variáveis independentes significativas. Além disso, é possível verificar os valores das estatísticas dos p\_valores das variáveis independentes, dos Pseudos R<sup>2</sup> dos modelos, e os resultados dos testes de verossimilhança dos modelos ajustados.

Tendo por base os p\_valores da Tabela 26, pode-se inferir com 95% de confiança, que as variáveis independentes significativas ao erro no comportamento ecológico (Er) foram as seguintes: temperatura do ar (ta), temperatura radiante média (trm) e velocidade do ar (va), relacionadas aos parâmetros ambientais; taxa metabólica (M), referente ao parâmetro pessoal; e os índices, *Predicted Mean Vote* (PMV) e a temperatura equivalente (teq). Além disso, pelos valores das estimativas dos coeficientes dessas variáveis, é possível inferir que elas produzem um efeito negativo no erro do comportamento ecológico, ou seja, um aumento dessas variáveis tende a resultar na redução do erro no comportamento ecológico dos motoristas.

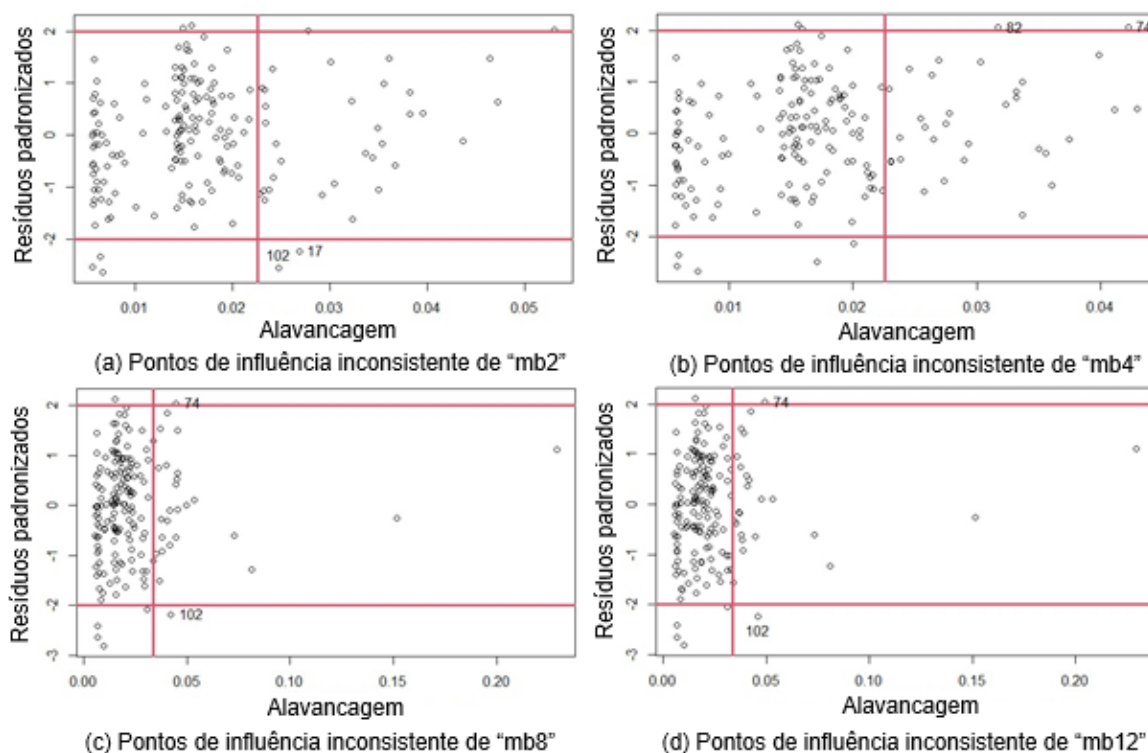
Atentando aos valores dos Pseudos  $R^2$  da Tabela 26, nota-se valores baixos (Pseudos  $R^2 < 0,2$ ), e que isso reflete em um poder explicativo baixo desses modelos ajustados. Esse poder explicativo baixo indica que a maior parte da variabilidade do erro no comportamento ecológico não é devido às variáveis independentes significativas presentes na tabela citada. Além disso, independente da função de ligação, os modelos ajustados com as variáveis “PMV”, “va” e “M” representaram melhor o “Er” dos motoristas, devido aos valores mais altos do Pseudo  $R^2$ , e o modelo mb8 das funções “cloglog” e “logit” podem ser considerados os melhores para representar a variabilidade do erro no comportamento ecológico dos condutores de ônibus urbano dentre os modelos ajustados desta pesquisa.

Apesar dos modelos terem obtidos um poder explicativo baixo, os resultados dos testes estatísticos de verossimilhança (p\_valor  $\chi^2$ ), quando comparados a um nível de significância  $\alpha=5\%$ , indicam que os ajustes podem ser julgados como razoáveis e suficientes (CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2008, p.112).

As inferências dos modelos ajustados, presentes na Tabela 26, só serão verídicas, caso os modelos não apresentem desvios sistemáticos, e o procedimento de validação dos modelos foi feito levando em consideração os 4 modelos da função de ligação “logit”, pois os valores dos Pseudos  $R^2$  foram bem próximos para todas as funções de ligação.

À princípio, a validação dos modelos foi feita tendo por base a análise da presença de pontos de influência inconsistentes, e os resultados podem ser observados no Gráficos 34

Gráfico 34 – Pontos de influência inconsistentes dos modelos ajustados



Fonte: Autoria própria (2022)

O Gráfico 34 apresenta quatro ilustrações dos pontos de influência inconsistentes, e é possível observar que existem dois pontos de influência (observações 17 e 102) na ilustração (a), dois pontos (observações 74 e 82) na ilustração (b), e um ponto (observação 102) nas ilustrações (c) e (d). Logo, esses pontos, assim como os pontos de *outliers*, foram omitidos para seguir com as análises.

Com a retirada dessas observações, consideradas pontos de influência inconsistentes, dos modelos ajustados da função de ligação "logit", verificou-se uma melhora nos resultados das estatísticas dos Pseudos  $R^2$  apresentadas na Tabela 26.

O resultado das estatísticas dos modelos, após a retirada das observações consideradas pontos de influência de inconsistentes, está exposto na Tabela 27.

Tabela 27 – Resultado da adequação dos modelos do erro no comportamento

Função de ligação	Modelo	Pseudo $R^2$
Logit	mb2	0,1785
	mb4	0,1843
	mb8	0,1853
	mb12	0,1805

Fonte: Autoria própria (2022)

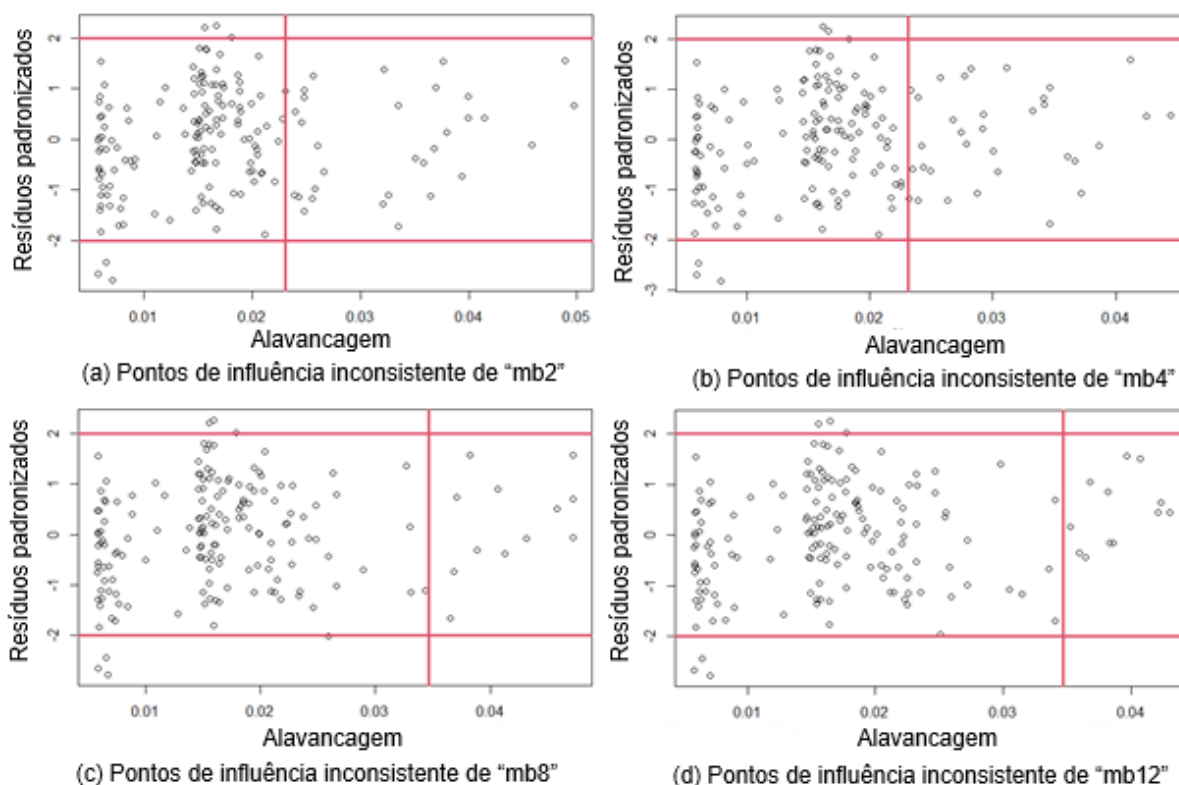
A Tabela 27 apresenta os valores das estatísticas Pseudos  $R^2$  dos modelos adequados do erro no comportamento ecológico dos motoristas, e é possível

verificar a melhora no desempenho dos p\_valores, quando comparados com os valores da Tabela 26.

Em se tratando do modelo mb8, que foi considerado o melhor da Tabela 27, o Pseudos  $R^2$  passou de 0,1608 para 0,1853. Essa melhora não foi muito significativa, mas demonstra que essas observações omitidas eram realmente pontos de influência inconsistentes dos modelos ajustados inicialmente. Além das melhoras observadas nos Pseudos  $R^2$  após da retirada das observações (17, 74, 82 e 102), verificou-se que a variável independente velocidade do ar (va) mostrou-se insignificante para os modelos mb8 e mb12 e, com isso, ela foi retirada dos modelos citados.

De posse dessa adequação, o procedimento de validação dos modelos pela presença de ponto de influência inconsistentes pode ser observado no Gráficos 35.

**Gráfico 35 – Pontos de influência inconsistentes dos modelos adequados**

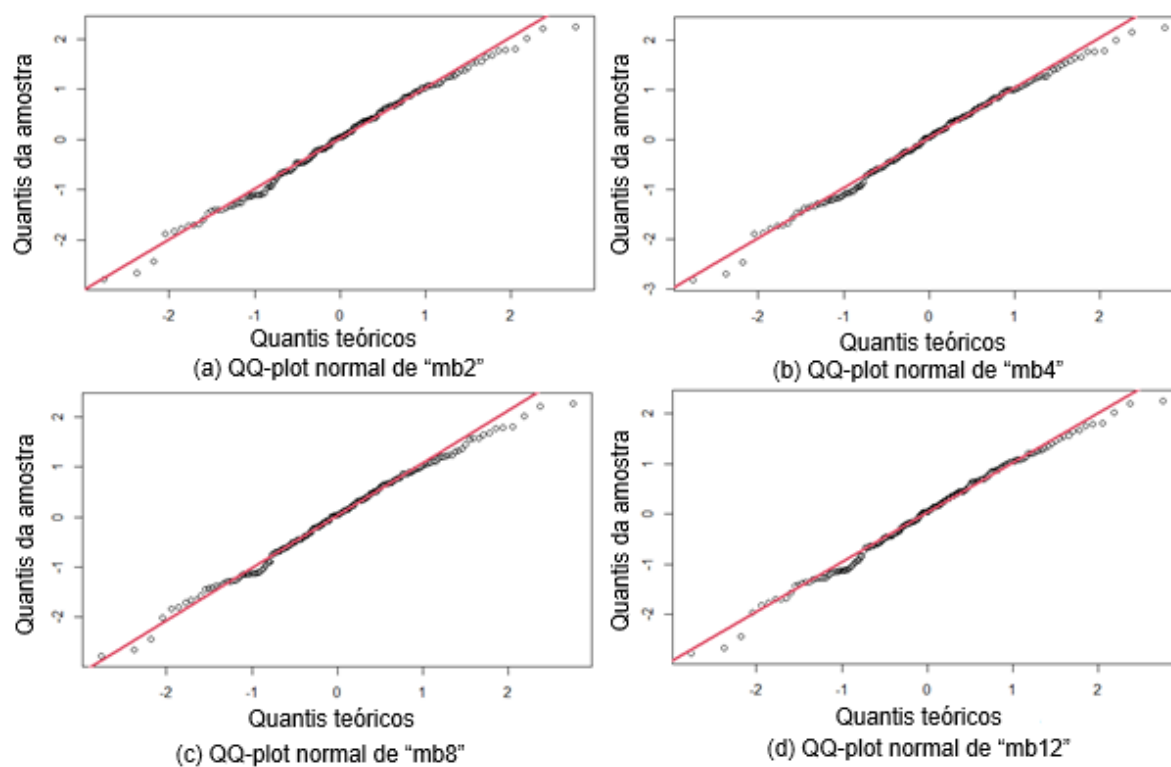


**Fonte: Autoria própria (2022)**

No Gráfico 35, é possível verificar nas ilustrações (a), (b), (c) e (d) que, após a adequação dos modelos pela omissão das observações 17, 74, 82 e 102, não há mais pontos que possam ser considerados de influência inconsistentes e, dessa forma, a análise de validação dos modelos pode ser estendida.

Outro procedimento adotado por essa pesquisa, a fim de avaliar a consistência dos melhores modelos do erro no comportamento ecológico dos motoristas de ônibus, foi a avaliação da distribuição selecionada, e o resultado pode ser visto no Gráfico 36.

**Gráfico 36 – QQ-Plot Normal dos modelos adequados**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

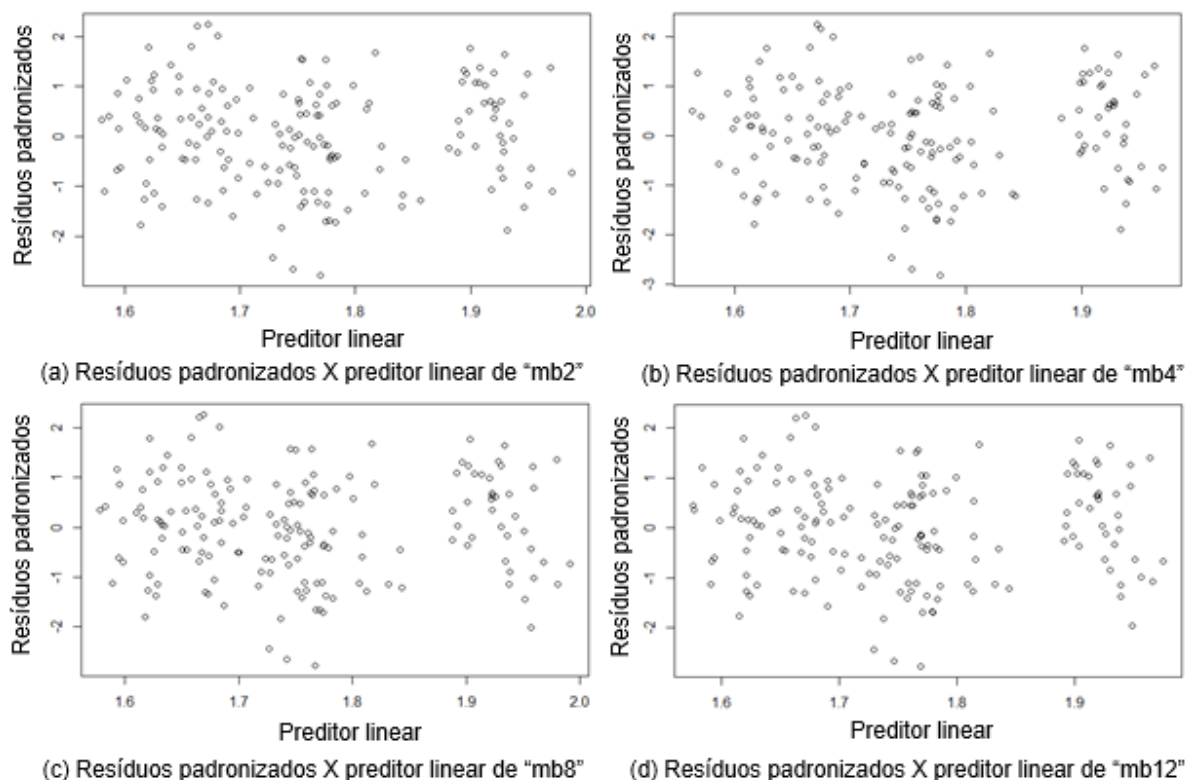
O Gráfico 36 apresenta o QQ-plot Normal dos resíduos padronizados dos modelos mb2, mb4, mb8 e mb12, respectivamente, e é possível inferir que os resíduos gerados se aproximam da distribuição normal, pois grande parte dos pontos estão subscritos à reta vermelha e poucos deles se afastam. Logo, pode-se assumir que a distribuição adotada (Beta) é adequada para prever o erro no comportamento ecológico dos motoristas em função da proporção de tempo que a velocidade do ônibus se mantém fora dos limites de velocidade de cruzeiro ideal predefinidos.

A inferência da suposição de normalidade dos resíduos dos modelos apontada nas ilustrações do Gráfico 36, foi ratificada pelo teste de Shapiro Wilk, e todos os resultados convergiram para valores dos  $p\_valor > 0,4496$ , implicando que os resíduos gerados pelos modelos ajustados podem ser considerados normalmente distribuídos, quando comparados a um nível de significância  $\alpha = 0,05$ .



Em seguida, examinou-se a adequação da função de variância dos modelos, por meio dos gráficos dos resíduos *versus* preditor linear, e os resultados podem ser observados no Gráficos 37.

**Gráfico 37 – Resíduos versus preditor linear dos modelos adequados**



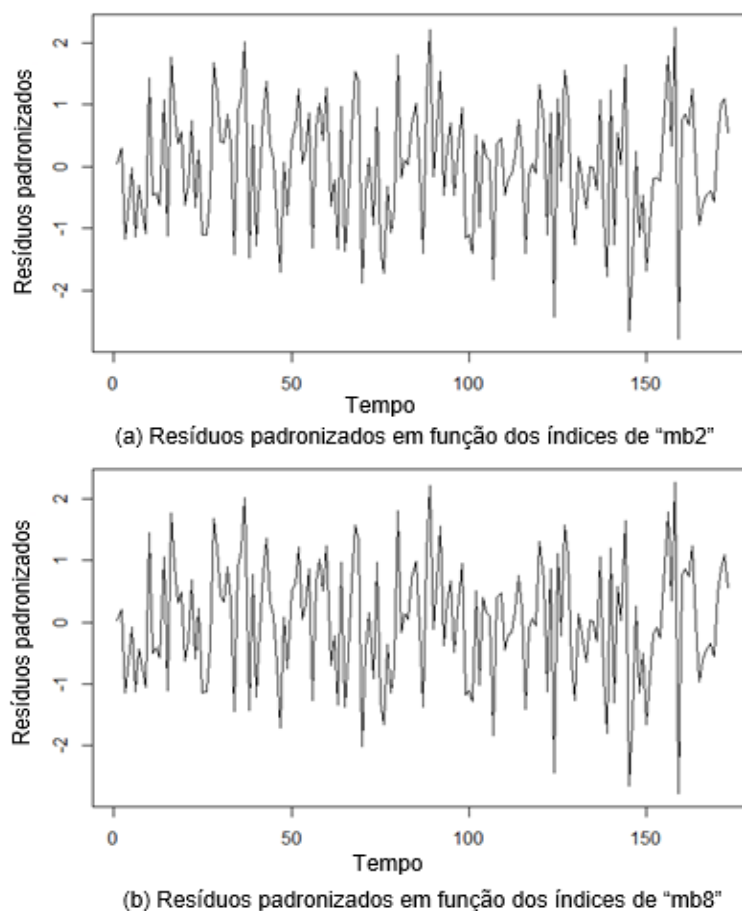
**Fonte: Autoria própria (2022)**

Nas ilustrações (a), (b), (c) e (d) do Gráfico 37, não é possível observar padrões definidos de mudança no espalhamento dos pontos para diferentes valores do preditor linear. Logo, a função de variância pode ser considerada adequada para descrever a variabilidade dos dados. Também, foi averiguado a adequação da função de ligação dos modelos ajustados, por meio do teste *likelihood ratio*.

Os resultados dos *likelihood ratio* nos modelos mb2 e mb8, foram  $p\_valor=0,0585$  e  $p\_valor=0,1054$ , respectivamente, que são superiores ao nível de significância  $\alpha=0,05$ , implicando que a inclusão do preditor linear ao quadrado nos modelos, não gera mudanças significativas no ajuste, e, conseqüentemente, a função de ligação "logit" pode ser considerada adequada. No entanto, os modelos mb4 e mb12 obtiveram  $p\_valor= 0,02042$  e  $p\_valor=0,0492$ , respectivamente, e são valores menores que o nível de significância  $\alpha=0,05$ , e, dessa forma, para esses dois modelos, a função de ligação "logit" não pode ser considerada adequada.

Por último, na avaliação do ajuste dos modelos, foram verificadas as independências dos resíduos, por meio do gráfico dos resíduos padronizados, em função dos índices, e que podem ser visualizados no Gráfico 38.

**Gráfico 38 – Resíduos versus índices dos modelos adequados**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Nas ilustrações (a) e (b) do Gráfico 38, observa-se que não existe a presença de padrão de repetição ao longo do tempo nos resíduos dos modelos ajustados, e isso implica dizer que os modelos geram resíduos independentes.

A Tabela 28 retoma as informações dos modelos considerados satisfatórios.

**Tabela 28 – Modelos do erro no comportamento ecológico**

Função de ligação	Modelo	Variável (coeficiente)	p_valor Z	Pseudo R <sup>2</sup>	p_valor $\chi^2$
Logit	mb2	Intercepto (3,8533)	<2e-16	0,1785	<2e-16
		ta (-0,0358)	0,0053		
		M (-0,0126)	4,66 e-07		
	mb8	Intercepto (2,9961)	<2e-16	0,1853	<2e-16
		PMV (-0,1312)	0,0023		
		M (-0,0123)	3,42 e-06		

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Verifica-se na Tabela 28 os dois modelos ajustados e considerados satisfatórios por não apresentarem desvios sistemáticos. Nota-se, ainda, que “mb2”

e “mb8” possuem as seguintes variáveis independentes significativas ao erro no comportamento ecológico dos motoristas (Er): temperatura do ar (ta), taxa metabólica (M) e *Predicted Mean Vote* (PMV), isto é,  $Er = f(ta, M)$  ou  $Er = f(PMV, M)$ . Observando os valores dos coeficientes dessas variáveis independentes significativas presentes na mesma tabela, pode-se inferir que todas elas exercem um efeito negativo sobre o “Er”, uma vez que um acréscimo dessas variáveis reduz o erro no comportamento ecológicos dos motoristas de ônibus urbano.

Ainda na Tabela 28, verifica-se que os modelos apresentam valores do Pseudos  $R^2 < 2$ , indicando que eles têm um poder explicativo baixo. No entanto, os resultados dos testes de verossimilhança p\_valor  $\chi^2$  apontam que eles servem para prever parte da variabilidade do erro no comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano definido nesta pesquisa, em termos de proporção de tempo que a velocidade dos ônibus se manteve fora dos limites de velocidade de cruzeiro ideal. Além disso, os resíduos gerados por esses 2 modelos representativos foram independentes e normalmente distribuídos, e as funções de distribuição, variância e ligação foram consideradas adequadas.

Com base nos dados apresentados na Tabela 28, foi possível determinar os modelos matemáticos de previsão do erro no comportamento ecológico e eles estão representados pelas Equações 27 e 28 para as variáveis independentes significativas dos modelos mb2 e mb8, respectivamente.

$$Er = \frac{1}{1 - e^{-(3,8533 - 0,0358 * ta - 0,0126 * M)}} \quad (27)$$

$$Er = \frac{1}{1 - e^{-(2,9961 - 0,1312 * PMV - 0,0123 * M)}} \quad (28)$$

onde,

Er = Erro no comportamento ecológico (%);

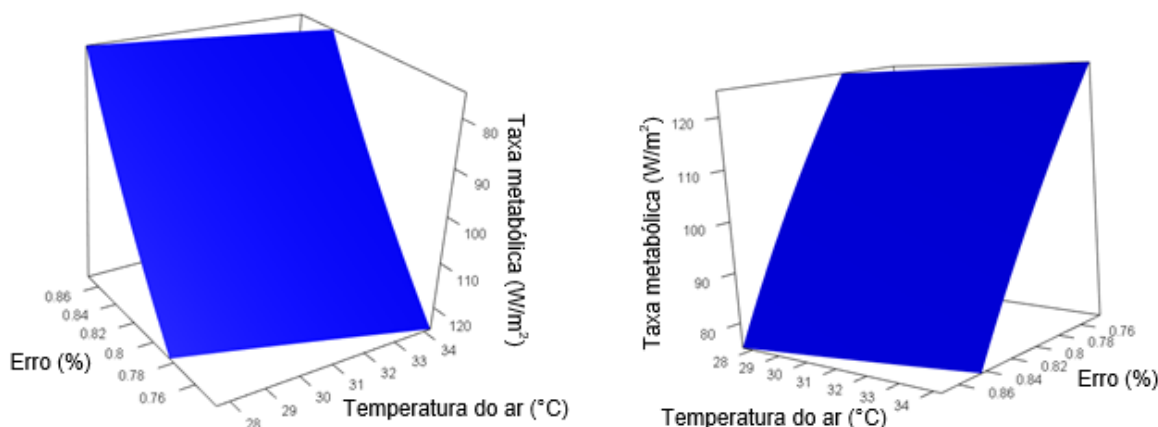
ta = temperatura do ar (°C);

M = Taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>);

PMV = *Predicted Mean Vote* (PMV);

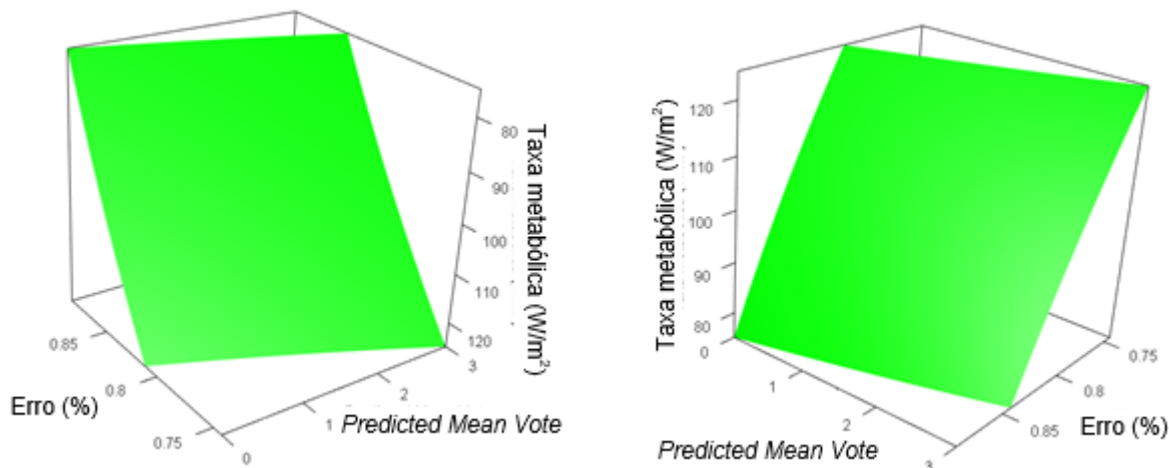
Com os modelos matemáticos das Equações 27 e 28, e com a possibilidade de geração de uma amostra de 1000 dados aleatórios para “ta”, “M” e “PM”, por meio do *software* R, gerou-se os Gráficos 39 e 40, que representam a razão de chances (*odds ratio*).

Gráfico 39 – Razão de chance do erro devido a “ta” e “M”



Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 40 – Razão de chance do erro devido ao “PMV” e “M”



Fonte: Autoria própria (2022)

Nos Gráficos 39 e 40, é apresentado sob duas perspectivas, o desempenho do erro no comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano em função das variáveis independentes dos modelos “mb2” e “mb8”, e tendo por base as Equações 27 e 28. Os dados aleatórios gerados de “ta” e “PMV” respeitaram os limites máximos e mínimos observados nesta pesquisa, e os dados de “M” foram os valores máximos e mínimos extraídos da ISO 8996 (1990) para a atividade de condução de ônibus que vai de 75 à 125 W/m<sup>2</sup>.

No Gráfico 39, é possível observar que, quando a temperatura do ar (ta) e a taxa metabólica (M) crescem, o erro (Er) diminui. O mesmo desempenho do “Er” (redução da %) pode ser observado na medida em que as variáveis “PMV” e “M” crescem.

O desempenho da variável dependente “Er” pode ser visualizado em formato de número, por meio da Tabela 29.

**Tabela 29 – Valores estimados do erro no comportamento ecológico**

mb2			mb8		
ta (°C)	M (W/m <sup>2</sup> )	Er (%)	PMV	M (W/m <sup>2</sup> )	Er (%)
27	75	0,87	1	75	0,87
30	75	0,86	2	75	0,86
34	75	0,84	3	75	0,84
27	100	0,84	1	100	0,84
30	100	0,82	2	100	0,82
34	100	0,80	3	100	0,80
27	125	0,79	1	125	0,79
30	125	0,77	2	125	0,77
34	125	0,74	3	125	0,74

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Nota-se na Tabela 29, a variação dos valores do erro no comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano (Er) em função das variáveis independentes dos modelos mb2 e mb4.

Ainda na Tabela 29, é possível perceber três valores para a taxa metabólica (75, 100 e 125 w/m<sup>2</sup>) extraídos da tabela da ISO 89896 (1990), associados a três valores da temperatura do ar (27, 30 e 34 °C), que correspondem a valores próximos da mínima, média e máxima observados nesta pesquisa, ou a três valores do *Predicted Mean Vote* (1, 2 e 3) que correspondem as classes “levemente com calor”, “calor” e “muito calor”, da sensação térmica da ISO 7730 (2005). Contudo, observa-se que o “Er” diminui com o aumento de “ta” ou de “PMV”, com relação aos três valores de “M”, e “Er” diminui com o aumento de “M”, quando se trata dos mesmos valores de cada um dos três valores de “ta” e de “PMV”

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em tempos de preocupação com a economia de combustíveis e das mudanças climáticas devido ao aquecimento global, oriundo da queima de combustíveis fósseis, esta tese de doutorado buscou prever o erro no comportamento ecológico dos motoristas em função das condições térmicas das cabines de ônibus urbano. O erro no comportamento ecológico foi idealizado pensando na economia de combustível em detrimento à velocidade de cruzeiro ideal e permitida por lei, por meio da proporção de tempo que os motoristas conseguem manter a velocidade do ônibus fora dos limites de velocidade de cruzeiro, durante seu itinerário.

Logo, planejou-se uma pesquisa de campo para coletar em tempo real e ao longo de três viagens ao dia, os dados dos parâmetros do conforto térmico, da telemetria dos ônibus e de variáveis relacionadas com as características pessoais e de trabalho dos motoristas. Contudo, traçou-se os objetivos específicos com o intuito de dar suporte no alcance do objetivo principal e os resultados foram:

**Mensurar os parâmetros ambientais temperatura do ar (ta), temperatura radiante média (trm), umidade relativa do ar (ur) e velocidade do ar (va) das cabines dos ônibus urbano.**

Observou-se na estatística descritiva que a temperatura do ar no interior dos ônibus foi em média 2°C mais quente do que a temperatura do ar externa. Além disso, a viagem observada às 12h foi a que apresentou as médias mais altas para “ta” e “trm” e a média mais baixa para “ur”, por outro lado, a viagem das 18h apresentou as médias mais baixas para “ta” e “trm”, e a “ur” média mais alta. Já o parâmetro velocidade do ar apresentou médias similares entre as viagens observadas.

**Estimar os parâmetros pessoais taxa metabólica (M) e isolamento térmico das vestimentas (Iclo) dos motoristas de ônibus urbano.**

Os valores do isolamento térmico das vestimentas foram levantados por meio de questionário e estimados, tendo por base a tabela da ISO 9920 (2007). Observou-se que o valor do “Iclo” dos motoristas era em virtude do fardamento que é exigido e fornecido pela empresa, e a única diferença estava na camisa interna utilizada por dois dos três motoristas da amostra. Além disso, e visando minimizar

imprecisão deste parâmetro, a pesquisa incluiu 0,25clo em cada valor da “Iclo” dos condutores, em virtude do assento dos ônibus.

O metabolismo foi estimado para cada motorista por meio da Equação 13, que leva em consideração o valor da taxa metabólica tabelado, extraído da tabela da ISO 8996 (1990) para os condutores de ônibus, e a relação entre as áreas de Dubois de um indivíduo padrão com as dos motoristas. Ademais, a equação citada mostrou-se gerar valores da taxa metabólica bem ajustados quando comparados aos dos calculados por meio da metodologia ISO 8996 (1990).

### **Analisar a relação da sensação, avaliação e preferência térmica dos motoristas de ônibus urbano com os parâmetros ambientais e pessoais.**

Os votos subjetivos da sensação, avaliação e preferência térmica dos motoristas foram analisados por meio da metodologia de Modelos Lineares Generalizados e modelados pela regressão logística ordinal, em função dos seis parâmetros do conforto térmico. Logo, os resultados dos ajustes dos modelos convergiram para apenas três modelos distintos, em relação à cada voto citado, e eles demonstraram que os votos subjetivos podem ser modelados apenas em função dos parâmetros ambientais, e não pelos parâmetros pessoais.

Os três modelos da sensação foram em função de parâmetros diferentes, um unicamente com temperatura do ar, outro só com temperatura radiante média, e o terceiro com a velocidade do ar em conjunto com a umidade relativa do ar. Desses três modelos, o que melhor se ajustou à sensação foi o em função de “ta”, com um poder explicativo excelente ( $PseudoR^2=0,669$ ), enquanto que os demais obtiveram um poder explicativo satisfatório ( $PseudoR^2=0,584$  e  $PseudoR^2=0,466$ , respectivamente). No entanto, os testes de verossimilhança indicaram que eles podem ser utilizados para avaliar os efeitos provocados por “ta” ou “trm”, ou por “va” em conjunto com “ur”, sobre a sensação térmica dos motoristas.

As curvas de chance proporcional do melhor modelo, indicaram que há grande probabilidade dos motoristas escolherem as sensações térmicas em função de temperatura do ar da seguinte forma: quando  $ta < 28^\circ C$ , as chances maiores são na escolha do voto “neutro”; para o intervalo  $28^\circ C \leq ta \leq 30^\circ C$ , a tendência é maior para sensação “levemente com calor”; para valores no intervalo  $30^\circ C \leq ta \leq 33^\circ C$ , é mais natural que eles opinem na escala de “calor”; e para valores de  $ta > 33^\circ C$ , a tendência é que os condutores se sintam com “muito calor”.

No tocante aos três modelos da avaliação térmica, os resultados dos ajustes indicaram que, no geral, eles têm um poder de previsão considerados satisfatórios, mas os testes estatísticos de verossimilhança indicaram que eles são válidos para avaliar os efeitos das variações dos parâmetros “ta” ou “trm”, ou “ur” em conjunto com “va”, na avaliação térmica dos ambientes das cabines dos motoristas de ônibus.

O melhor modelo ajustado para representar a avaliação térmica dos motoristas, obteve um  $PseudoR^2=0,467$ , e ele é em função dos parâmetros ambientais temperatura do ar e velocidade do ar. Logo, as curvas de chances proporcionais geradas por esse modelo indicam que quando  $ta < 30^\circ C$  em conjunto com  $va > 0,7 m/s$ , há uma grande probabilidade dos condutores avaliarem as cabines dos ônibus como “confortável”, já para intervalos de  $29^\circ C \leq ta \leq 32^\circ C$  associados com  $0,3 m/s \leq va \leq 0,8 m/s$ , são grandes as chances dos votos de avaliação serem caracterizados como “levemente desconfortável”. Para o voto de “desconfortável”, os intervalos foram  $32^\circ C \leq ta \leq 34^\circ C$  em conjunto com  $0,4 m/s \leq va \leq 0,7 m/s$ , enquanto que para o de “muito desconfortável”, os valores prováveis são valores de  $ta > 34^\circ C$  associados à  $va < 0,4 m/s$ .

Para a preferência térmica, os três modelos ajustados demonstraram que o poder de previsibilidade deles foi satisfatório, e os resultados dos testes de verossimilhança indicaram que os modelos podem ser úteis para avaliar os efeitos da variação de “ta” sozinho ou de “trm”, ou “ur” em conjunto com “va”, na escolha do voto de preferência térmica dos condutores.

O modelo representativo da preferência térmica melhor ajustado foi em função de temperatura do ar, o qual obteve um  $PseudoR^2=0,437$ . Diante disso, gerou-se as curvas de chance proporcional, os quais indicaram que: para valores de  $ta < 28^\circ C$ , há uma alta probabilidade dos condutores escolherem a classe “assim mesmo”; entre  $28^\circ C \leq ta \leq 32^\circ C$ , é comum que eles prefiram estar um “pouco mais refrescado”; para valores  $32^\circ C \leq ta \leq 34^\circ C$ , é natural preferirem estar “muito refrescado”; e quando  $ta > 34^\circ C$ , começa a surgir o voto de preferência térmica de “bem mais refrescado”.

**Avaliar se os índices *Predicted Mean Vote* de Fanger e a temperatura equivalente podem ser utilizados como previsores da sensação térmica dos motoristas de ônibus urbano.**



Com o intuito de testar e validar os índices *Predicted Mean Vote* e temperatura equivalente na aplicação de ambiente veicular para prever a sensação térmica dos motoristas de ônibus, executou-se uma modelagem de regressão logística ordinal dos votos subjetivos de sensação térmica em função do PMV contínuo (calculado pelo *site* Thermal Comfort Tool) e da temperatura equivalente da ISO 14505-2 (2006).

Com o ajuste do modelo do voto de sensação térmica em função do PMV, o resultado indicou que ele pode ser considerado um preditor excelente ( $PseudoR^2=0,63$ ) e, por meio das curvas de chances proporcionais, ficou evidente que o PMV pode ser utilizado para prever as sensações de “levemente com calor”, “calor” e “muito calor” dos motoristas.

O modelo ajustado do voto de sensação térmica em função da temperatura equivalente, produziu um poder de explicação excelente ( $Pseudo R^2=0,631$ ) e, tendo por base as curvas de chance proporcional geradas, pode-se inferir que a temperatura equivalente para prever as classes “neutro” é  $teq < 27^\circ C$ , “quente, mas confortável” é  $27^\circ C \leq teq \leq 33^\circ C$ , e “muito quente” é  $teq > 33^\circ C$ , da percepção da sensação térmica dos motoristas de ônibus urbano desta pesquisa.

#### **Determinar a existência ou não de conforto ou de estresse térmico a que estão sujeitos os motoristas de ônibus urbano.**

Na estatística descritiva, verificou-se que a situação mais provável para esta pesquisa é da condição de conforto/desconforto térmico, e mais precisamente tratou-se como desconforto térmico por calor, pois os valores máximo e mínimo mensurados dos parâmetros ambientais do conforto térmico estavam dentro dos limites definidos na ISO 7730 (2005), e quando associados aos valores dos parâmetros pessoais dos motoristas, gerou índices de PMV entre +1 a +3, ou seja, de “levemente com calor” a “muito calor”, na escala de sensação térmica.

#### **Mensurar o erro no comportamento ecológico dos motoristas em tempo real nas rotas de ônibus urbano.**

O erro no comportamento ecológico dos motoristas foi traduzido pela proporção do tempo que os condutores permaneciam com a velocidade do ônibus fora dos limites de velocidade de cruzeiro ideal de  $35\text{km/h} \leq Ve \leq 50\text{km/h}$ . Dessa forma, monitorou-se a velocidade dos ônibus em tempo real a cada segundo durante

as viagens, por meio de um aplicativo de celular provido de um GPS e que era capaz de gerar tabelas com os dados.

Como resultado da análise estatística descritiva da velocidade dos ônibus e da proporção de tempo que a velocidade do ônibus estava fora dos limites de velocidade de cruzeiro ideal, tem-se que a média da velocidade média dos ônibus foi de 24,4km/h, e que a proporção de tempo fora dos limites de velocidade de cruzeiro ideal foi em média de 85% do tempo total das viagens.

### **Verificar a relação entre os parâmetros e dos índices do conforto térmico no erro do comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano.**

A presença ou não de relação entre a variável dependente do erro no comportamento ecológico com os seis parâmetros, os índices PMV e temperatura equivalente e o voto de sensação térmica, foi avaliada tendo por base a metodologia dos Modelos Lineares Generalizados, por meio de modelos de regressão Beta.

A distribuição Beta é indicada para variáveis dependentes com características de proporção e é a que melhor representa a variável dependente considerada neste estudo. Além disso, essa distribuição admite as funções de ligações “logit”, “probit”, “loglog” e “cloglog” na tentativa de melhorar os ajustes dos modelos. Logo, à princípio, gerou-se 48 modelos distintos, considerando as funções de ligação admitidas por essa distribuição e combinação das variáveis independentes levantadas na pesquisa de campo e que não tivessem correlação forte entre elas.

Com os ajustes das variáveis independentes dos modelos gerados, resultou em 16 modelos com variáveis distintas, dos quais 4 deles com função de ligação “logit” foram considerados melhores ajustados, tendo por base o critério de maior valor do PseudoR<sup>2</sup>.

Desses 4 modelos ajustados com a função de ligação “logit”, só dois (mb2 e mb8) passaram pelo procedimento de validação dos modelos, e eles obtiveram um PseudoR<sup>2</sup>=0,1785 e PseudoR<sup>2</sup>=0,1853, respectivamente, indicando um poder explicativo baixo. Entretanto, os testes de verossimilhança indicaram, com 95% de confiança, que eles podem ser usados para avaliar parte da variabilidade da variável erro no comportamento ecológico dos motoristas. Além disso, os dois modelos citados se mostraram consistentes devido à validação das análises dos resíduos,

pois não houve presença de pontos de influência inconsistentes, os resíduos gerados pelos modelos foram independentes e normalmente distribuídos, e as função de distribuição, de variância e de ligação foram consideradas adequadas.

As variáveis independentes dos 2 modelos indicados melhores ajustados foram as seguintes: parâmetro ambiental, temperatura do ar; parâmetro pessoal, taxa metabólica; e índice PMV de Fanger. Além disso, essas variáveis independentes e significativas aos dois modelos apresentaram seus coeficientes negativos ou inversamente proporcionais ao erro no comportamento ecológico, indicando que um aumento nessas variáveis implicaria em uma redução do erro no comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano.

A seguir, como recomendações de trabalhos futuros, foram sugeridas as possíveis razões de variabilidade das variáveis significativas dos modelos do erro no comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano.

**Temperatura do ar:** possivelmente, com as temperaturas do ar mais altas, os condutores tenderam a aumentar a velocidade de direção dos ônibus devido ao estresse provocado pelo aumento da temperatura do ar. Como recomendação de pesquisas futuras, tem-se a avaliação do efeito da faixa de temperatura do ar, cuja sensações térmicas sejam na escala de desconforto térmico por frio, no erro do comportamento ecológico dos motoristas de ônibus urbano.

**Taxa metabólica:** possivelmente, o condutor com taxa metabólica mais alta tende a minimizar seu desgaste energético ao longo da jornada, mantendo-se constantemente na velocidade econômica por mais tempo, evitando desacelerar/acelerar o ônibus. Como recomendação de pesquisas futuras, tem-se a avaliação do efeito da taxa metabólica de uma amostra maior de motoristas e uma possível razão para esse aumento.

***Predicted Mean Vote:*** uma possível razão para essa redução, pode ser devido ao fato de que os condutores se sentiam mais desconfortáveis termicamente por calor, e eles tendiam a compensar com o aumento da velocidade do ônibus para minimizar os efeitos das trocas de calor envolvidas nesse índice, e que podem acarretar no estresse. Como recomendação de pesquisas futuras, uma sugestão seria averiguar os efeitos das escalas negativas (desconforto por frio) desse índice, no erro do comportamento ecológico dos motoristas de ônibus.

## REFERÊNCIAS

- ABEPRO, (Associação Brasileira de Engenharia de Produção). **Áreas da engenharia de produção**, 2018. Disponível em: <http://portal.abepro.org.br/a-profissao/>. Acesso em: 5 maio. 2018.
- ABERGO, (Associação Brasileira de Ergonomia). **O que é ergonomia (conceito da IEA em 2000)**, 2018. Disponível em: [http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o\\_que\\_e\\_e](http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_e). Acesso em: 6 maio. 2018.
- ABREU, M. N. S.; SIQUEIRA, A. L.; CAIAFFA, W. T. Regresión logística ordinal en estudios epidemiológicos. **Revista de Saúde Pública**, v. 43, n. 1, p. 183–194, 2009.
- ADAMIDIS, F. K.; MANTOUKA, E. G.; VLAHOGIANNI, E. I. Effects of controlling aggressive driving behavior on network-wide traffic flow and emissions. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 263–276, 2020.
- ALAHMER, A. *et al.* Vehicular thermal comfort models: a comprehensive review. **Applied Thermal Engineering**, v. 31, n. 6-7, p. 995-1002, 2011.
- ALAHMER, A. *et al.* Analysis of vehicular cabins' thermal sensation and comfort state, under relative humidity and temperature control, using Berkeley and Fanger models. **Building and Environment**, v. 48, p. 146-163, 2012.
- ALBERTSSON, P.; FALKMER, T. Is there a pattern in European bus and coach incidents? a literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanisms. **Accident Analysis & Prevention**, v. 37, n. 2, p. 225–233, 2005.
- ALMEIDA, M. N.; XAVIER, A. A. P.; MICHALOSKI, A. O. A review of thermal comfort applied in bus cabin environments. **Applied Sciences**, v. 10, n. 23, p. 8648, 2020.
- ALMEIDA, M. N. *et al.* Thermal comfort in bus cabins: a review of parameters and numerical investigation. **Occupational and Environmental Safety and Health II**, p. 499-506, 2020.
- ANDRIEU, C.; SAINT PIERRE, G.. Using statistical models to characterize eco-driving style with an aggregated indicator. *In*: **2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium**. IEEE, 2012. p. 63-68.
- ARAÚJO, Rui *et al.* Driving coach: A smartphone application to evaluate driving efficient patterns. *In*: **2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium**. IEEE, 2012. p. 1005-1010..
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE – 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Georgia: ASHRAE, 2017.
- ASSUNCAO, A.; JARDIM, R.; DE MEDEIROS, A. Voice complaints among public transport workers in the metropolitan region of belo horizonte, Brazil. **Folia**

**Phoniatria et Logopaedica**, v. 65, n. 5, p. 266–271, 2014.

AULICIEMS, A. Towards a psycho-physiological model of thermal perception. **International Journal of Biometeorology**, v. 25, n. 2, p. 109–122, 1981.

AULICIEMS, A.; DE DEAR, R. Airconditioning in Australia I — human thermal factors. **Architectural Science Review**, v. 29, n. 3, p. 67–75, 1986.

BARZENBUS, J. N. Eco-driving: an overlooked climate change initiative. **Energy Policy**, v. 38, n. 2, p. 762–769, 2010.

BARTH, M.; BORIBOONSOMSIN, K. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 14, n. 6, p. 400–410, 2009.

BIRRELL, S. *et al.* Analysis of three independent real-world driving studies: a data driven and expert analysis approach to determining parameters affecting fuel economy. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 33, p. 74-86, 2014.

BRODAY, E. E.; RUIVO, C. R.; GAMEIRO, S. M. The use of Monte Carlo method to assess the uncertainty of thermal comfort indices PMV and PPD: benefits of using a measuring set with an operative temperature probe. **Journal of Building Engineering**, p. 101961, 2020.

BRUSEY, J. *et al.* Reinforcement learning-based thermal comfort control for vehicle cabins. **Mechatronics**, v. 50, p. 413-421, 2018.

CÂNDIDO, C. *et al.* Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222-229, 2010.

CHANG, D. J.; MORLOK, E. K. Vehicle speed profiles to minimize work and fuel consumption. **Journal of Transportation Engineering**, v. 131, n. 3, p. 173–182, 2005.

CHEN, M.-C.; YEH, C.-T.; WANG, Y.-S. Eco-driving for urban bus with big data analytics. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, 2020.

CHIMBA, D.; SANDO, T.; KWIGIZILE, V. Effect of bus size and operation to crash occurrences. **Accident Analysis & Prevention**, v. 42, n. 6, p. 2063–2067, 2010.

CIGARINI, F. *et al.* Modeling and experimental investigation of thermal comfort and energy consumption in a battery electric bus. **World Electric Vehicle Journal**, v. 12, n. 1, p. 7, 2021.

CONCEIÇÃO, E. Z. E.; SILVA, M. C. G.; VIEGAS, D. X. Airflow around a passenger seated in a bus. **HVAC&R Research**, v. 3, n. 4, p. 311-323, 1997.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Business Research Methods**. The McGraw-Hill Companies. 2014. E-book. Disponível em: [https://www.academia.edu/36184183/Business\\_Research\\_Methods\\_12th\\_Edition](https://www.academia.edu/36184183/Business_Research_Methods_12th_Edition). Acesso em: 5 maio. 2020.

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos lineares generalizados e**

**extensões**. Piracicaba: USP, 2008.

CROITORU, C. *et al.* Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles - current capabilities and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 304-318, 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 20 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 24 set. 1997. Retificado em 25 set. 1997. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9503.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm)>. Acesso em: 27 mar. 2022.

CUI, W. *et al.* Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance. **Building and Environment**, v. 68, p. 114-122, 2013..

D'AMATO, A. *et al.* Development of a cruise controller based on current road load information with integrated control of variable velocity set-point and gear shifting. **SAE Technical Paper**, 2017.

DANCA, P.; VARTIRES, A.; DOGEANU, A. An overview of current methods for thermal comfort assessment in vehicle cabin. **Energy Procedia**, v. 85, p. 162-169, 2016.

DE DEAR, R. J., BRAGER, G. S. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference - ASHRAE Transactions**. Atlanta: v. 104, p. 145-167, 1998.

DÍAZ-RAMIREZ, J. *et al.* Eco-driving key factors that influence fuel consumption in heavy - truck fleets: a Colombian case. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 56, p. 258-270, 2017.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: a review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 2626–2640, 2010.

DONKERS, A.; YANG, D.; VIKTOROVIĆ, M. Influence of driving style, infrastructure, weather and traffic on electric vehicle performance. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 88, p. 102569, 2020.

DORN, L.; AF WAHLBERG, A. Work-related road safety: an analysis based on U.K. bus driver performance. **Risk Analysis**, v. 28, n. 1, p. 25–35, 2008.

EL-SHAWARBY, I.; AHN, K.; RAKHA, H. Comparative field evaluation of vehicle cruise speed and acceleration level impacts on hot stabilized emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 10, n. 1, p. 13–30, 2005.

ENESCU, D. A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 1353–1379, 2017.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. S. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial health**, v. 44, n. 3, p. 388–398, 2006.

EVIN, E.; AYDIN, M. B.; KARDAS, G. Design and implementation of a canbus-based eco-driving system for public transport bus services. **IEEE Access**, v. 8, p. 8114 –

8128, 2020.

FAFOUTELLIS, P.; MANTOUKA, E. G.; VLAHOGIANNI, E. I. Eco-driving and its impacts on fuel efficiency: an overview of technologies and data-driven methods. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 226, 2020.

FANGER, P. O. *et al.* Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. **Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.**, 1970. Copenhagen: Danish Technical Press.

FOJTLÍN, M. *et al.* An innovative HVAC control system: Implementation and testing in a vehicular cabin. **Journal of Thermal Biology**, v. 70, n. A, SI, p. 64–68, 2017.

FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, v. 46, n. 4, p. 922–937, 2011.

GIACONIA, C.; ORIOLI, A.; DI GANGI, A. A correlation linking the predicted mean vote and the mean thermal vote based on an investigation on the human thermal comfort in short-haul domestic flights. **Applied Ergonomics**, v. 48, p. 202–213, 2015.

GILMAN, E. *et al.* Personalised assistance for fuel-efficient driving. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 58, p. 681-705, 2015.

GRAVETTER, F.; WALLNAU, L. **Statistics for the behavioral sciences**. Cengage Learning, 2016.

HARRELL, F. E. **Regression modeling strategies: with applications to linear models, logistic and ordinal regression, and survival analysis**. Springer, 2015.

HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 581–591, 2002.

HEMMERT, G. A. *et al.* Log-likelihood-based pseudo-R<sup>2</sup> in logistic regression: deriving sample-sensitive benchmarks. **Sociological Methods & Research**, v. 47, n. 3, p. 507-531, 2018..

HERMAWAN, G.; HUSNI, E. Acquisition, modeling, and evaluating method of driving behavior based on OBD-II: a literature survey. *In: 2020, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. p. 12030.

HOSMER JR, D. W.; LEMESHOW, S.; STURDIVANT, R. X. **Applied Logistic Regression**. John Wiley & Sons, 2013.

HOSSAM, M.; FOUAD, M.; ABOU-ZAID, A. Numerical investigation of airflow patterns and thermal comfort in a bus cabin. **Sae International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems**, v. 13, n. 2, p. 145–156, 2020.

HUANG, Y. *et al.* Eco-driving technology for sustainable road transport: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, p. 596-609, 2018.

HUNTER, James C. **O monge e o executivo**. Rio de janeiro: Sextante, v. 103, 2004.

IEA (International Ergonomics Association). **Human Factors/Ergonomics (HF/E)**, 2018. Disponível em: <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>. Acesso em: 6 maio. 2020.

IIDA, I.; BUARQUE, L. I. A. **Ergonomia**: projeto e produção. Editora Blucher, 2016.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). 2021. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A001>. Acesso em: 13 fev. 2022.

ISMAIL, A. R. *et al.* A descriptive analysis of factors contributing to bus drivers' performances while driving: a case study in Malaysia. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering**, v. 11, p. 2430, 2015. a.

ISMAIL, A. R. *et al.* Relationship between thermal comfort and driving performance among Malaysian bus driver. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 10, n. 17, p. 7406-7411, 2015. b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**: Ergonomics of the physical environment – subjective judgement scales for assessing physical environments. Genebra: ISO, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14505-1**: Ergonomics of the thermal environment-evaluation of thermal environments in vehicles – part 1: principles and methods for assessment of thermal stress. Genebra: ISO, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14505-2**: Ergonomics of the thermal environment – evaluation of thermal environments in vehicles – part 2: determination of equivalent temperature. Genebra: ISO, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14505-3**: Ergonomics of the thermal environment – evaluation of thermal environments in vehicles - part 3: evaluation of thermal comfort using human subjects, Annex B. Genebra: ISO, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7243**: Ergonomics of the thermal environment – assessment of heat stress using the wbgt (wet bulb globe temperature) index. Genebra: ISO, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. Genebra: ISO, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment, analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculations of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra: ISO, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7933**: Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. Genebra: ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8996**: Ergonomics of the thermal environment: determination of metabolic rate. Genebra:



ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9920:** Ergonomics of the thermal environment – estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Geneva: ISO, 2007.

JEFFREYS, I.; GRAVES, G.; ROTH, M. Evaluation of eco-driving training for vehicle fuel use and emission reduction: a case study in Australia. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 60, p. 85–91, 2018.

KEDAR-DONGARKAR, G.; D., M. Driver classification for optimization of energy usage in a vehicle. **Procedia Computer Science**, v. 8, p. 388–393, 2012.

MANSOU, K. M. *et al.* Development of a novel control strategy for a multiple-circuit rooftop bus air-conditioning system in hot humid countries. **International Journal of Mechanical and Materials Engineering**, v. 2, n. 2, p. 200-211, 2007..

MANSOU, K. M. *et al.* Development of novel control strategy for multiple circuit, roof top bus air conditioning system in hot humid countries. **Energy Conversion and Management**, v. 49, n. 6, p. 1455-1468, 2008.

KHOO, H. L.; AHMED, M. Modeling of passengers' safety perception for buses on mountainous roads. **Accident Analysis & Prevention**, v. 113, p. 106–116, 2018.

KIM, M.-J. *et al.* Approach to service design based on customer behavior data: a case study on eco-driving service design using bus drivers' behavior data. **Service Business**, v. 12, n. 1, p. 203-227, 2018.

KING, B. M.; ROSOPA, P. J.; MINIUM, E. W. **Statistical reasoning in the behavioral sciences**. John Wiley & Sons, 2018.

LAI, W.-T. The effects of eco-driving motivation, knowledge and reward intervention on fuel efficiency. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 34, p. 155–160, 2015.

LAI, W.-T.; CHEN, C.-F. Behavioral intentions of public transit passengers - the roles of service quality, perceived value, satisfaction and involvement. **Transport Policy**, v. 18, n. 2, p. 318–325, 2011.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P.; GOULART, S. **Conforto e stress térmico**. LabEEE, UFSC. Catarina, Brasil, 2016.

LEE, T.; SON, J. Relationships between driving style and fuel consumption in highway driving. *In: 16th Asia Pacific Automotive Engineering Conference*. 2011.

LI, B. *et al.* An introduction to the chinese evaluation standard for the indoor thermal environment. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 27-36, 2014.

LI, S. E. *et al.* Fuel-saving servo-loop control for an adaptive cruise control system of road vehicles with step-gear transmission. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 66, n. 3, p. 2033-2043, 2016.

LIIMATAINEN, H. Utilization of fuel consumption data in an ecodriving incentive system for heavy-duty vehicle drivers. **IEEE Transactions on Intelligent**

**Transportation Systems**, v. 12, n. 4, p. 1087–1095, 2011.

LIN, T. P. *et al.* Passenger thermal perceptions, thermal comfort requirements, and adaptations in short-and long-haul vehicles. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 3, p. 221-230, 2010.

LIN, Z. *et al.* CFD analysis of ventilation effectiveness in a public transport interchange. **Building and Environment**, v. 41, n. 3, p. 254-261, 2006.

LUIJT, R. S. *et al.* 5 years of Dutch eco-driving: managing behavioural change. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 98, p. 46-63, 2017.

MADSEN, T. L.; OLESEN, B. W.; KRISTENSEN, N. K. **Comparison between operative and equivalent temperature under typical indoor conditions**. 1984.

MAKOWIEC-DĄBROWSKA, T. *et al.* Climate conditions and work-related fatigue among professional drivers. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, n. 2, p. 121-128, 2019.

MALCHAIRE, J. Travail à la chaleur. **EMC-Toxicologie-Pathologie**, v. 1, n. 3, p. 96–116, 2004.

MANTOUKA, E. *et al.* Smartphone sensing for understanding driving behavior: current practice and challenges. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 10, n. 3, p. 266-282, 2021.

MANTOUKA, E. G.; BARMPOUNAKIS, E. N.; VLAHOGIANNI, E. I. Identifying driving safety profiles from smartphone data using unsupervised learning. **Safety Science**, v. 119, p. 84–90, 2019.

MCCONKY, K.; CHEN, R. B.; GAVI, G. R. A comparison of motivational and informational contexts for improving eco-driving performance. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 52, p. 62–74, 2018.

MENSING, F. *et al.* Trajectory optimization for eco-driving taking into account traffic constraints. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 18, p. 55-61, 2013.

LIBERATI, A. *et al.* The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions : *Annals of Internal Medicine, Academia and Clinic*, 151 (4), 2009.

MOOVIT. **Moovit**. 2022. Disponível em: [https://moovitapp.com/index/pt-br/transporte\\_público-line-208-Joao\\_Pessoa-1622-850765-635344-0](https://moovitapp.com/index/pt-br/transporte_público-line-208-Joao_Pessoa-1622-850765-635344-0). Acesso em: 20 fev. 2022.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. Editora Saraiva, 2017.

MORGAN, G. A. *et al.* **IBM SPSS for Introductory Statistics: use and interpretation**. Routledge, 2019.

MORTON, C.; CAULFIELD, B.; ANABLE, J. Customer perceptions of quality of service in public transport: evidence for bus transit in Scotland. **Case Studies on Transport Policy**, v. 4, n. 3, p. 199–207, 2016.

- MUI, K. W.; SHEK, K. W. Influence of in-tunnel environment to in-bus air quality and thermal condition in Hong Kong. **Science of the Total Environment**, v. 347, n. 1, p. 163–174, 2005.
- NÆVESTAD, T. O. *et al.* Safety culture among bus drivers in Norway and Greece. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 64, p. 323-341, 2019.
- NGUYEN-PHUOC, D. Q. *et al.* Modelling the net traffic congestion impact of bus operations in Melbourne. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 117, p. 1-12, 2018. a.
- NGUYEN-PHUOC, D. Q. *et al.* Congestion relief and public transport: An enhanced method using disaggregate mode shift evidence. **Case Studies on Transport Policy**, v. 6, n. 4, p. 518-528, 2018. b.
- NGUYEN, T. *et al.* Insight into the lateral ride discomfort thresholds of young-adult bus passengers at multiple postures: case of Singapore. **Case Studies on Transport Policy**, v. 7, n. 3, p. 617-627, 2019.
- NICOL, F.; ROAF, S. Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project. **Energy and Buildings**, v. 23, n. 3, p. 169–174, 1996.
- NICOL, J. F. 15 thermal comfort and temperature standards in Pakistan. **Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century**, p. 149, 1995.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. **Thermal comfort as part of a self-regulating system**. 1973.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and buildings**, v. 34, n. 6, p. 563–572, 2002.
- NICOL, J. Fergus *et al.* Climatic variations in comfortable temperatures: the Pakistan projects. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 3, p. 261-279, 1999.
- ÔNIBUS PARAÍBA, O. **Ônibus Paraíba**. 2020. Disponível em: <http://www.onibusdaparaiba.com/2020/08/semob-retorna-linha-208-vale-das.html>. Acesso em: 20 fev. 2022.
- PALA, U. Investigation of thermal comfort for bus passengers during a cooling test inside a climatic chamber. **Journal of Polytechnic-Politeknik Dergisi**, v. 23, n. 2, p. 547–555, 2020.
- PALA, U.; OZ, H. R. An investigation of thermal comfort inside a bus during heating period within a climatic chamber. **Applied Ergonomics**, v. 48, p. 164–176, 2015.
- PARSONS, K. **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance**. CRC press, 2014.
- PEETERS, L. *et al.* Thermal comfort in residential buildings: comfort values and scales for building energy simulation. **Applied Energy**, v. 86, n. 5, p. 772-780, 2009.
- PELKMANS, L. *et al.* Influence of vehicle test cycle characteristics on fuel

consumption and emissions of city buses. **SAE Transactions**, p. 1388-1398, 2001.

PIMENTA, A. M.; ASSUNÇÃO, A. Á. Thermal discomfort and hypertension in bus drivers and chargers in the metropolitan region of Belo Horizonte, Brazil. **Applied Ergonomics**, v. 47, p. 236–241, 2015.

PING, P. *et al.* Impact of driver behavior on fuel consumption: classification, evaluation and prediction using machine learning. **IEEE Access**, v. 7, p. 78515-78532, 2019..

POZUECO, L. *et al.* A methodology to evaluate driving efficiency for professional drivers based on a maturity model. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 85, p. 148-167, 2017.

PRAKASH, NK U. *et al.* A study on the prevalence of indoor mycoflora in air conditioned buses. **British Microbiology Research Journal**, v. 4, n. 3, p. 282-292, 2014..

RATANAVARAH, V.; JOMNONKWAO, S. Model of users' expectations of drivers of sightseeing buses: confirmatory factor analysis. **Transport Policy**, v. 36, p. 253–262, 2014.

REYMOND, G. *et al.* Role of lateral acceleration in curve driving: driver model and experiments on a real vehicle and a driving simulator. **Human Factors**, v. 43, n. 3, p. 483-495, 2001.

RIBEIRO, R. L. **Procedimento para auditoria de segurança viária incluindo avaliações em ambientes virtuais**. Tese (Doutorado em Transporte Urbano) – Programa de Pós-Graduação em Transportes Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

RJD, D.; BRAGER, G. S. Towards an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Trans**, v. 104, n. 1, p. 145–167, 1998.

ROLIM, C.; BAPTISTA, P. Comparing drivers' self-perception on driving behaviour changes with real world driving performance data: Lisbon case-study. **Travel Behaviour and Society**, v. 11, p. 86–92, 2018.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 178–205, 2015.

SAERENS, B. *et al.* A methodology for assessing eco-cruise control for passenger vehicles. **Transportation research part D: transport and environment**, v. 19, p. 20-27, 2013.

SAERENS, B.; VAN DEN BULCK, E. Calculation of the minimum-fuel driving control based on Pontryagin's maximum principle. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 24, p. 89–97, 2013.

SANGUINETTI, A.; KURANI, K.; DAVIES, J. The many reasons your mileage may vary: toward a unifying typology of eco-driving behaviors. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 52, p. 73–84, 2017.

SAVKOVIĆ, T. *et al.* Effects of eco-driving training: a pilot program in Belgrade public

transport. **Tehnički vjesnik**, v. 26, n. 4, p. 1031-1037, 2019.

SCHMINDER, J.; GÅRDHAGEN, R. A generic simulation model for prediction of thermal conditions and human performance in cockpits. **Building and Environment**, v. 143, p. 120–129, 2018.

SHEK, K. W.; CHAN, W. T. Combined comfort model of thermal comfort and air quality on buses in Hong Kong. **Science of The Total Environment**, v. 389, n. 2, p. 277–282, 2008.

SIMION, M.; SOCACIU, L.; UNGURESAN, P. Factors which Influence the thermal comfort inside of vehicles. **Energy Procedia**, v. 85, p. 472–480, 2016.

SIVAK, M.; SCHOETTLE, B. Eco-driving: strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. **Transport Policy**, v. 22, p. 96–99, 2012.

STRATHMAN, J. G.; WACHANA, P.; CALLAS, S. Analysis of bus collision and non-collision incidents using transit ITS and other archived operations data. **Journal of Safety Research**, v. 41, n. 2, p. 137–144, 2010.

SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A.; ANDERSON, D. R. **Estatística aplicada à administração e economia**. São Paulo: CENGAGE Learning, 2013.

TANAKA, M. Heat stress standard for hot work environments in Japan. **Industrial Health**, v. 45, n. 1, p. 85–90, 2007.

TARTARINI, F. *et al.* CBE thermal comfort tool: online tool for thermal comfort calculations and visualizations. **SoftwareX**, v. 12, p. 100563, 2020.

THORSSON, S. *et al.* Thermal comfort and outdoor activity in japanese urban public places. **Environment and Behavior**, v. 39, n. 5, p. 660-684, 2007.

UN (United Nations). **Sustainable development goals goal, 13: climate action**. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals/goal-13-climate-action.html>. Acesso em: 23 abr. 2021.

ÜNAL, Ş. An experimental study on a bus air conditioner to determine its conformity to design and comfort conditions. **Journal of Thermal Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1089-1101, 2017.

VAN DER LINDEN, A. C. *et al.* Adaptive temperature limits: a new guideline in the Netherlands: a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 1, p. 8-17, 2006.

VELT, K. B.; DAANEN, H. A. M. Optimal bus temperature for thermal comfort during a cool day. **Applied Ergonomics**, v. 62, p. 72–76, 2017.

VETTER, M. *et al.* Cognitive and personality determinants of safe driving performance in professional drivers. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 52, p. 191-201, 2018.

VOLLARO, R. L. Indoor climate analysis for urban mobility buses: a cfd model for the evaluation of thermal comfort. **International Journal of Environmental Protection**

**and Policy**, v. 1, n. 1, p. 1, 2013.

WALNUM, H. J.; SIMONSEN, M. Does driving behavior matter? an analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 36, p. 107–120, 2015.

WANG, H. *et al.* Modelling of the fuel consumption for passenger cars regarding driving characteristics. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 13, n. 7, p. 479-482, 2008.

WANG, J.; BESSELINK, I.; NIJMEIJER, H. Battery electric vehicle energy consumption prediction for a trip based on route information. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, v. 232, n. 11, p. 1528–1542, 2018.

WANG, J.; RAKHA, H. A. Fuel consumption model for conventional diesel buses. **Applied Energy**, v. 170, p. 394–402, 2016.

WANG, M. *et al.* Potential impacts of ecological adaptive cruise control systems on traffic and environment. **IET Intelligent Transport Systems**, v. 8, n. 2, p. 77-86, 2014.

WANG, Y.; BOGGIO-MARZET, A. Evaluation of eco-driving training for fuel efficiency and emissions reduction according to road type. **Sustainability**, v. 10, n. 11, 2018.

WHO (World Health Organization). **Global status report on road safety 2018**. World Health Organization, 2018. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>. Acesso em: 25 jul. 2019.

WICKRAMANAYAKE, S.; BANDARA, HMN D. Fuel consumption prediction of fleet vehicles using machine learning: a comparative study. In: **2016 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCOn)**. IEEE, 2016. p. 90-95.

WILLIAMS, R. Generalized ordered logit/partial proportional odds models for ordinal dependent variables. **The Stata Journal**, v. 6, n. 1, p. 58–82, 2006.

XAVIER, A. A. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias**-teoria física aliada a estudos de campo. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

XIA, H.; BORIBOONSOMSIN, K.; BARTH, M. Dynamic eco-driving for signalized arterial corridors and its indirect network-wide energy/emissions benefits. **Journal of Intelligent Transportation Systems**, v. 17, n. 1, p. 31–41, 2013.

XU, Y. *et al.* Eco-driving for transit: an effective strategy to conserve fuel and emissions. **Applied Energy**, v. 194, p. 784-797, 2017.

XU, Z. *et al.* Modeling relationship between truck fuel consumption and driving behavior using data from internet of vehicles. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 33, n. 3, p. 209-219, 2018.

YAMATO, N.; TACHIBANA, T. Development and experimentation of smartphone

application for supporting proper cycling speed. *In: 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*: IEEE, 2018. p. 1–2.

YANG, J. *et al.* Incidence and characteristics of school bus crashes and injuries. **Accident Analysis & Prevention**, v. 41, n. 2, p. 336-341, 2009.

YAO, R.; LI, B.; LIU, J. A theoretical adaptive model of thermal comfort – adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). **Building and Environment**, v. 44, n. 10, p. 2089–2096, 2009.

YAO, Y. *et al.* Vehicle fuel consumption prediction method based on driving behavior data collected from smartphones. **Journal of Advanced Transportation**, v. 2020, 2020a.

YAO, Y. *et al.* Modeling of individual vehicle safety and fuel consumption under comprehensive external conditions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 79, p. 102224, 2020b.

ZAVALKO, A. Applying energy approach in the evaluation of eco-driving skill and eco-driving training of truck drivers. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 62, p. 672–684, 2018.

ZDRAVKOVIĆ, S. *et al.* Evaluation of professional driver's eco-driving skills based on type-2 fuzzy logic model. **Neural Computing and Applications**, v. 33, n. 18, p. 11541-11554, 2021.

ZETTERBERG WALLIN, G.; CRÉTIER, M. **A supervised learning approach to estimate the drivers impact on fuel consumption: a heavy-duty vehicle case study.** 2016.

ZHAI, H.; FREY, H. C.; ROUPHAIL, N. M. A vehicle-specific power approach to speed- and facility-specific emissions estimates for diesel transit buses. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 21, p. 7985–7991, 2008.

ZHANG, K.; ZHOU, K.; ZHANG, F. Evaluating bus transit performance of chinese cities: developing an overall bus comfort model. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 69, p. 105–112, 2014.

ZHANG, L. *et al.* The threshold effects of bus micro-environmental exposures on passengers' momentary mood. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 84, p. 102379, 2020.

ZHOU, M.; JIN, H. Development of a transient fuel consumption model. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 51, p. 82–93, 2017.

ZHU, M.; WANG, X.; WANG, Y. Human-like autonomous car-following model with deep reinforcement learning. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 97, p. 348–368, 2018b.

ZHU, S.; DEMOKRITOU, P.; SPENGLER, J. Experimental and numerical investigation of micro-environmental conditions in public transportation buses. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2077–2088, 2010.

ZHU, X. *et al.* Passenger comfort and ozone pollution exposure in an air-conditioned bus microenvironment. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 8, p. 1-17, 2020.

ZHU, X. *et al.* Air quality and passenger comfort in an air-conditioned bus micro-environment. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 190, n. 5, p. 1-15, 2018a.



**APÊNDICE A - Questionário de pesquisa**

### Percepção, Avaliação e Preferência Térmica dos Motoristas

O preenchimento dessas questões, tem a função da avaliação da situação de conforto térmico real por meio do julgamento subjetivo.

O questionário deve ser devidamente respondido logo após ao final de cada rota. Sendo que os quesitos de nº 3, 4, 5 e 6 devem conter apenas uma resposta cada. No caso de terem havido quaisquer mudanças nas vestimentas durante a rota, favor informar após a tabela do quesito 2.

#### Quesito 1) Dados do respondente:

Idade: ..... Altura: ..... Peso: ..... Sexo: ..... Tuno: .....

Horas trabalhadas no dia: ..... Tempo de serviço nessa rota: .....

Tempo de serviço na empresa: .....

#### Quesito 2) Marque as vestimentas que está utilizando neste momento (Tabela conforme ISO 9920/2007):

Roupas de baixo	Calças	Camisas, Suéteres, Camisolas e Casacos	Acessórios
Calcinha	Shorts	Colete sem mangas	Sapato de sola de couro
Cueca	Bermuda	Colete sem mangas grosso	Sapato de sola de borracha
Soutien	Calça de tecido fino	Suéter manga longa fino	Tênis
Meia Calça	Calça jeans	Suéter manga longa grosso	Botas sem cano (Botim)
Camisola Interior	Calça de moletom		Sandália/chinelo
Ceroulas	Macacão	Jaquetão/japona leve	Blusão Fino
	Macacão por cima da roupa	Jaquetão/ japona grosso	Meia soquete
<b>Camisas, Blusas</b>	<b>Vestidos e Saias</b>	Blusão Grosso	Luvas
Camiseta Regata	Vestido curto sem manga	Blazer Fino	Meia Calça
Camiseta manga curta	Vestido curto manga curta	Blazer Grosso	Meia soquete
Camiseta manga longa	Vestido até o joelho manga curta	Camisa de botão	Meia
Camisa de manga curta	Vestido comprido manga curta		Meia ¾ até o joelho
Camisa de manga longa	Vestido comprido manga longa		
Camisão manga curta	Vestido tipo jardineira		
Camisão manga longa	Saia curta de tecido fino		
Miniblusa	Saia curta de tecido grosso		
Blusa gola redonda			
Moletom manga longa	Vestido completo, fechado		

Houve alguma mudança de vestimentas entre um horário e outro? Qual?

.....  
 .....

**Quesito 3) “Com relação a sua sensação térmica, como você se sentiu durante a rota?” (Tabela de percepção térmica - ISO 10551/2019)**

Com muito calor (+ 3)	<input type="checkbox"/>
Com calor (+ 2)	<input type="checkbox"/>
Levemente com calor (+ 1)	<input type="checkbox"/>
Neutro ( 0 )	<input type="checkbox"/>
Levemente com frio ( - 1)	<input type="checkbox"/>
Com frio ( - 2)	<input type="checkbox"/>
Com muito frio ( - 3)	<input type="checkbox"/>

**Quesito 4) “Com relação a avaliação térmica, de que maneira você se sentiu na durante a rota?” (Tabela de avaliação térmica - ISO 10551/2019)**

Confortável ( 0 )	<input type="checkbox"/>
Levem desconfortável ( 1 )	<input type="checkbox"/>
Desconfortável ( 2 )	<input type="checkbox"/>
Muito desconfortável ( 3 )	<input type="checkbox"/>

**Quesito 5) “Como você preferia estar se sentindo durante a rota?” (Tabela de preferências térmicas - ISO 10551/2019)**

Bem mais aquecido (+ 3)	<input type="checkbox"/>
Mais aquecido (+ 2)	<input type="checkbox"/>
Um pouco mais aquecido (+ 1)	<input type="checkbox"/>
Assim mesmo ( 0 )	<input type="checkbox"/>
Um pouco mais refrescado ( - 1)	<input type="checkbox"/>
Mais refrescado ( - 2)	<input type="checkbox"/>
Bem mais refrescado ( - 3)	<input type="checkbox"/>