UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MURILO RIBEIRO RODRIGUES

Avaliação da aplicabilidade da classificação LTS (*Level of Traffic Stress*)
para uma cidade média brasileira

São Carlos

2021

MURILO RIBEIRO RODRIGUES

Avaliação da aplicabilidade da classificação LTS (*Level of Traffic Stress*)
para uma cidade média brasileira

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes.

Área de Concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes

Orientador: Prof. Titular Antônio Néson Rodrigues da Silva

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos
2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

R696a	<p>Rodrigues, Murilo Ribeiro</p> <p>Avaliação da aplicabilidade da classificação LTS (Level of Traffic Stress) para uma cidade média brasileira / Murilo Ribeiro Rodrigues; orientador Antônio Néelson Rodrigues Da Silva. São Carlos, 2021.</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021.</p> <p>1. Mobilidade urbana. 2. Transporte cicloviário. 3. Nível de estresse. 4. Estresse fisiológico. I. Título.</p>
-------	---

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **MURILO RIBEIRO RODRIGUES**.

Título da dissertação: "Avaliação da aplicabilidade da classificação LTS (Level of Traffic Stress) para uma cidade média brasileira".

Data da defesa: 03/09/2021.

Comissão Julgadora

Resultado

Prof. Titular **Antônio Nelson Rodrigues da Silva**
(Orientador)

(Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **Carlos Alberto Prado da Silva Junior**
(Universidade Estadual de Londrina/UEL)

Aprovado

Prof. Dr. **Cassiano Augusto Isler**
(Escola Politécnica-EP/USP)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Transportes:

Prof. Associado **Adalberto Leandro Faxina**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me iluminar, abençoar e sempre se fazer presente ao meu lado, especialmente por meio das pessoas especiais que coloca na minha vida.

Agradeço aos meus pais, Ana Maria e Adailson, e minha irmã, Diana, pelo suporte e amor incondicionais e pelo constante incentivo a me manter sempre na busca pelos meus objetivos: vocês me fizeram enxergar que a educação é a principal força capaz de mudar a trajetória de uma pessoa. A eles e a todos os demais familiares, agradeço também pelo apoio e compreensão que sempre recebi ao longo desta jornada.

Agradeço ao professor Antônio Néelson, pela orientação e lições passadas ao longo do mestrado. Durante este tempo precisamos nos reinventar várias vezes e sem sua compreensão e apoio nada teria sido possível.

Ao Inaian Teixeira agradeço por disponibilizar os dados utilizados neste trabalho e pela disponibilidade que sempre teve ao longo deste tempo.

Agradeço à Mylena Rodrigues pela grande amizade e companheirismo, e por sempre entender, e acolher, tão bem minhas dores, alegrias e confidências ao longo desta jornada.

A todos os amigos de São Carlos, obrigado por terem tornado o período de convivência diária mais leve e divertido e por incentivarem e vibrarem a cada conquista, mesmo com a distância física dos últimos meses,

Aos amigos de Goiânia agradeço a compreensão e auxílios, especialmente nas mudanças de cidade. Vocês tornaram tudo isso mais fácil.

A cada mestre que cruzou o meu caminho e que foram espelho e modelo para que eu chegasse até aqui.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de estudos que possibilitou a minha dedicação exclusiva, por pouco mais de dois anos, ao programa de pós-graduação.

Por fim, agradeço a cada pessoa que, direta ou indiretamente, foi apoio ou incentivo ao longo de toda minha jornada.

RESUMO

RODRIGUES, M. R. Avaliação da aplicabilidade da classificação LTS (*Level of Traffic Stress*) para uma cidade média brasileira. 2021. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Com foco no desafio de minimizar o nível de estresse ao qual ciclistas se expõem ao pedalar, este estudo tem por objetivo avaliar a aplicabilidade de um reconhecido índice para classificar vias quanto ao estresse para o modo ciclovitário, o *Level of Traffic Stress* (LTS), em uma cidade média brasileira. Para tanto, medidas fisiológicas do estresse de quinze ciclistas, registradas enquanto pedalavam por vias com diferentes características na cidade de São Carlos - SP, foram utilizadas para criar uma escala, o *Index of Physiological Stress* - IPS, que foi comparada ao LTS. Além disso, a aplicação da técnica de Florestas Aleatórias com dados obtidos a partir de gravações em vídeo, registradas durante as viagens, permitiu identificar os principais causadores de estresse, e assim incorporá-los à classificação LTS de forma a melhorar sua adequação para representar situações reais. Os resultados permitem concluir que é possível aprimorar a classificação LTS, aproximando-a da situação real de estresse dos ciclistas, utilizando dois indicadores que podem ser facilmente levantados: adiver e presença de rotatórias. Estes fatores são particularmente interessantes em casos em que variáveis, como o volume de tráfego e estudos de escolha modal utilizados em algumas escalas, não podem ser obtidas facilmente.

Palavras-chave: Mobilidade urbana. Transporte ciclovitário. Nível de estresse. Estresse fisiológico.

ABSTRACT

RODRIGUES, M. R. Assessing the applicability of the LTS (Level of Traffic Stress) classification to a Brazilian medium-sized city. 2021. Thesis (Master) - São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, 2021.

Focusing on the challenge of minimizing the level of stress to which cyclists are exposed when cycling, the objective of this study is to assess the applicability of an important index to classify roads in terms of stress for cycling, the Level of Traffic Stress (LTS), to a medium-sized Brazilian city. For this purpose, physiological measures of stress of fifteen cyclists, recorded while cycling in roads with different characteristics in the city of São Carlos - SP were used to create a scale, the Index of Physiological Stress - IPS. The studied segments were then classified with the IPS and the results compared with the results of the LTS classification. In addition, applying the Random Forests technique using variables identified with video recordings collected during the trips allowed us to identify relevant causes of stress, and thus incorporate them into the LTS classification to improve their suitability to represent real-life situations. The results showed that the LTS classification can be improved, bringing it closer to the actual stress experienced by cyclists, by simply adding two factors: uphill grades and the presence of roundabouts. These indicators are particularly interesting in cases in which variables, such as traffic volume and modal choice studies, used in other indexes, cannot be easily obtained.

Keywords: Urban Mobility. Bicycle Transportation. Stress Level. Physiological Stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Segmentos do sistema viário da cidade de São Carlos - SP analisados neste estudo e suas respectivas infraestruturas cicloviárias, com imagens ilustrativas de alguns trechos.....	37
Figura 2 - Procedimentos e ferramentas utilizados para aplicação da metodologia, associados aos subitens correspondentes no capítulo de Resultados	43
Figura 3 - Classificação dos segmentos analisados em São Carlos - SP, segundo o LTS (<i>Level of Traffic Stress</i>)	44
Figura 4 - Mapa de calor da distribuição dos pontos de estresse ao longo da rota selecionada na cidade de São Carlos - SP	45
Figura 5 - Classificação dos segmentos analisados em São Carlos - SP, segundo o IPS (<i>Index of Physiological Stress</i>)	46
Figura 6 - Importância das variáveis independentes para o estresse na aplicação da técnica de de Florestas Aleatórias para identificação das variáveis mais importantes dentre aquelas selecionadas nos vídeos	52
Figura 7 - Classificação LTS dos segmentos após a inclusão das variáveis identificadas como relevantes para melhorar a correlação entre o LTS e o IPS	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de classificação do teste de concordância <i>Kappa</i>	40
Tabela 2 - Faixas de classificação IPS (<i>Index of Physiological Stress</i>) para segmentos da cidade de São Carlos - SP	45
Tabela 3 - Tabela de contingência (<i>Level of Traffic Stress</i> - LTS) x (<i>Index of Physiological Stress</i> - IPS) dos segmentos analisados na cidade de São Carlos - SP, com destaque para as células nas quais se esperaria mais valores	46
Tabela 4 - Variáveis encontradas nos vídeos e como foram utilizadas para aplicação das técnicas estatísticas selecionadas.....	48
Tabela 5 - Resultado da aplicação de diversas técnicas estatísticas para identificação das variáveis mais importantes dentre aquelas selecionadas nos vídeos, com destaque, em todas as técnicas, para as variáveis importantes encontradas com a aplicação da técnica de Florestas Aleatórias.....	49
Tabela 6 - Parâmetros de desempenho obtido por meio da aplicação da técnica de Florestas Aleatórias para identificação das variáveis mais importantes dentre aquelas selecionadas nos vídeos	52
Tabela 7 - Testes estatísticos para os cenários de reclassificação do LTS dos segmentos	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BSL	-	<i>Bicycle Stress Level</i>
FDR	-	<i>False Discovery Rate</i> (Taxa de Falsa Descoberta)
FNR	-	<i>False Negative Rate</i> (Taxa de Falso Negativo)
FOR	-	<i>False Omission Rate</i> (Taxa de Falsa Omissão)
FPR	-	<i>False Positive Rate</i> (Taxa de Falso Positivo)
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LTS	-	<i>Level of Traffic Stress</i>
NPV	-	<i>Negative Predictive Value</i> (Valor Preditivo Negativo)
SIG	-	Sistemas de Informações Geográficas
PPV	-	<i>Positive Predictive Value</i> (Valor Preditivo Positivo)
TNR	-	<i>False Negative Rate</i> (Taxa de Verdadeiro Negativo)
TPR	-	<i>True Positive Rate</i> (Taxa de Verdadeiro Positivo)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Caracterização do problema	21
1.2 Questões de Pesquisa	23
1.3 Objetivos	23
1.4 Justificativa	24
1.5 Estrutura do trabalho	24
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 Índices de nível de estresse para ciclistas.....	26
2.2 Validações e alterações ao LTS - <i>Level of Traffic Stress</i>	30
2.3 Medidas fisiológicas e fatores causadores de estresse	31
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 Coleta de dados de estresse	38
3.2 Análise dos vídeos coletados durante as viagens	40
3.3 Alteração nos critérios do LTS.....	42
4 RESULTADOS	44
4.1 Correlação entre LTS e estresse fisiológico	44
4.2 Análise dos vídeos.....	47
4.2.3 Identificação de variáveis mais relevantes	51
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE A	64
ANEXO A.....	91

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feita uma breve caracterização do problema estudado, discutindo a importância de abordar o estresse relacionado ao modo ciclovitário e apresentando alguns dos principais trabalhos que trataram da questão. Na sequência, são apresentadas as perguntas de pesquisa que o estudo busca responder, os objetivos deste trabalho, a justificativa para sua realização e a estrutura na qual este documento se organiza.

1.1 Caracterização do problema

Melhorar as condições de mobilidade em áreas urbanas é um desafio que tem recebido grande atenção nos últimos tempos, devido, principalmente, ao aumento da preocupação com a sustentabilidade e com a qualidade de vida. Neste sentido, um dos principais desafios atualmente associados aos sistemas de transportes é estimular a utilização das bicicletas. Para tanto, uma ação que tem se mostrado bastante relevante é minimizar os níveis de estresse dos ciclistas durante suas viagens.

Um dos trabalhos que abordou esta questão de forma promissora foi desenvolvido por Mekuria, Furth e Nixon (2012), que criaram uma escala para classificar as vias quanto ao estresse para os ciclistas, o *Level of Traffic Stress* (LTS). Esta escala, que já foi utilizada em diferentes realidades em diversos países, classifica a rede viária para uso da bicicleta com base em informações como o tipo de infraestrutura da via (ciclovias, ciclofaixa ou tráfego misto), número de faixas, velocidade regulamentada e presença de estacionamento. Como estas informações são relativamente simples de serem obtidas, o LTS vem sendo amplamente utilizado, tanto no meio profissional quanto no acadêmico (FERENCHAK; MARSHALL, 2020).

No entanto, como o LTS utiliza como parâmetros definições legais e estudos prévios e não medidas fisiológicas de estresse de ciclistas, diversos autores têm discutido a necessidade de validar a metodologia com base em dados reais de estresse (CONWAY, 2015; LOWRY; FURTH; HADDEN-LOH, 2016; WANG *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2018; TUCKER; MANAUGH, 2018; FERENCHAK; MARSHALL, 2020; HUERTAS *et al.*, 2020; COBB; JASHAMI; HURWITZ, 2021).

Um estudo promissor neste sentido é o desenvolvido por Freitas *et al.* (2018), que usaram medidas fisiológicas de um ciclista enquanto pedalava por diferentes rotas de uma

cidade de médio porte e constataram que não houve correlação entre o estresse fisiológico sentido pelo ciclista e a classificação proposta pelo LTS. Wang *et al.* (2016) também abordaram especificamente a classificação LTS e mostraram que as vias classificadas nas faixas mais baixas apresentavam menores níveis de estresse dos ciclistas do que as vias classificadas nas faixas superiores do LTS. No entanto, de acordo com o mesmo trabalho, estes níveis mais baixos não resultaram em maior utilização destas vias, o que deve ser um dos principais objetivos das medidas focadas na melhoria da infraestrutura ciclovária. Afinal, vias com baixos índices de estresse, mas pouca utilização, não fazem muita diferença no ambiente viário.

Ferrenchark e Marshall (2020) buscaram validar uma das faixas do LTS (Faixa 1, que, de acordo com esta metodologia, teria um nível de estresse tolerado até por crianças) e encontraram que, apesar de vias com classificação LTS 1 terem sido a maioria dentre as que os pais participantes da pesquisa disseram que deixariam seus filhos pedalar sem supervisão, algumas vias classificadas como LTS 2 e até LTS 3 também se mostraram seguras na avaliação destes pais. Isto parece indicar que, apesar de ser um bom parâmetro, esta classificação não está levando em conta alguns fatores que interferem na percepção de situações reais.

Algumas pesquisas se dedicaram mais especificamente a encontrar quais fatores estão mais relacionadas à sensação de estresse em ciclistas, com base em medidas fisiológicas dos ciclistas, e encontraram diversos fatores que não foram levados em conta pelo LTS (VIEIRA *et al.*, 2016; ZEILE *et al.*, 2016; CAVIEDES; FIGLIOZZI, 2018; NUÑEZ *et al.*, 2018; ZHU; ZHU, 2019; HALE *et al.*, 2019; KYRIAKOU *et al.*, 2019; FITCH; SHARPNACK; HANDY, 2020; HUERTAS *et al.*, 2020; RYBARCZYK *et al.*, 2020; COBB; JASHAMI; HURWITZ, 2021), conforme será aprofundado no capítulo de revisão da literatura deste documento. Apesar dos resultados destes estudos, até onde se pôde identificar na literatura, há uma escassez de trabalhos que analisaram a correlação entre a classificação LTS e dados reais de estresse medidos em ciclistas durante suas viagens.

A partir das observações acima mencionadas, o presente estudo visa avaliar a aplicabilidade do LTS em uma cidade brasileira de médio porte, com base em dados reais de estresse coletados de ciclistas enquanto pedalavam por vias com diferentes características. Além de avaliar a aplicabilidade desta metodologia para o caso estudado, buscar-se-á também identificar como aproximá-la da percepção dos ciclistas, identificando quais foram as variáveis que mais interferiram no estresse e visando incorporá-las ao LTS.

1.2 Questões de Pesquisa

Para atingir o objetivo principal de avaliar a aplicabilidade do LTS no contexto estudado, bem como os objetivos específicos anteriormente mencionados, busca-se responder às seguintes questões:

- Q1. A classificação LTS possui associação com medidas reais de estresse fisiológico medidos em ciclistas durante suas viagens em uma cidade média brasileira?
- Q2. Tendo sido encontradas diferenças entre a classificação LTS e o estresse fisiológico, é possível utilizar vídeos coletados durante as viagens para identificar os principais potenciais causadores de estresse que não foram considerados no LTS?
- Q3. A incorporação, na classificação LTS, de alguns dos potenciais causadores de estresse identificados é capaz de produzir uma melhor associação entre o LTS e o estresse fisiológico?

1.3 Objetivos

O principal objetivo do presente estudo é avaliar a aplicabilidade da escala LTS, em sua forma original ou aprimorada, para classificar as vias de uma cidade brasileira de médio porte, com base em dados fisiológicos de estresse coletados de ciclistas enquanto pedalavam por vias com diferentes características.

Os objetivos específicos são:

- i. Criar uma escala com base em dados fisiológicos de estresse, especificamente a condutividade elétrica e temperatura da pele, e compará-la ao LTS para identificar se há concordância entre ambas;
- ii. Avaliar se vídeos dos trechos percorridos durante a pesquisa possibilitam encontrar os principais fatores que estão relacionados aos momentos de ocorrência de estresse;
- iii. Avaliar se a incorporação de tais fatores ao LTS melhora a concordância deste com uma escala de estresse fisiológico.

1.4 Justificativa

Como apresentado na primeira seção deste capítulo, são poucos os trabalhos que se dedicaram a analisar criticamente a classificação LTS e sua correlação com medidas reais de estresse. Sendo assim, apesar de sua presença frequente na literatura especializada, há ainda dúvidas se este índice é realmente capaz de representar as sensações sentidas por ciclistas durante suas viagens. Além disso, é necessário que, em caso de divergências entre a situação real e a escala teórica, se identifique quais elementos e características do sistema viário e seus entornos estão diretamente relacionados aos momentos de estresse. Apesar deste último problema ter sido abordado em uma quantidade maior de trabalhos, ainda precisa ser melhor entendido se há variações nas sensações dos ciclistas quando se comparam locais com diferentes características.

Por fim, é necessário entender se o LTS é adequado para utilização no caso estudado, uma cidade brasileira de médio porte, cujas características físicas e ambientais, além do comportamento dos ciclistas, são muito diferentes das cidades neerlandesas em cujas normas Mekuria, Furth e Nixon (2012) se basearam ao desenvolver sua escala.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. Neste primeiro capítulo é introduzido o problema abordado e são apresentados os objetivos, questões de pesquisa e uma justificativa para sua realização. No capítulo 2, são discutidos estudos encontrados na literatura que abordaram a questão do estresse para os ciclistas, apresentando os principais índices que mensuram o conforto dos ciclistas em vias urbanas, na seção 2.1, estudos que propuseram alterações ao LTS, na seção 2.2, e alguns fatores identificados como estressores, de acordo com diferentes autores, na seção 2.3. A metodologia proposta para alcançar os objetivos deste trabalho é apresentada no capítulo 3. No capítulo 4 são apresentados e analisados os resultados obtidos com a aplicação do método. As discussões, conclusões e implicações derivadas dos resultados encontrados, são apresentadas no capítulo 5. Por fim, é apresentada a lista de referências bibliográficas citadas no presente documento e, na sequência, um apêndice que contém informações complementares aos resultados apresentados no capítulo 4 e o anexo com o detalhamento do processo de coleta de dados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na primeira parte deste capítulo é apresentado o conceito de nível de estresse para ciclistas e alguns dos principais índices usados para sua classificação. Na segunda parte, estão apresentados alguns trabalhos que, utilizando diferentes metodologias, propuseram alterações ao *Level of Traffic Stress* - LTS. Por fim, na terceira parte deste capítulo são apresentados alguns trabalhos que utilizaram medidas fisiológicas de estresse em ciclistas para identificar pontos críticos da malha viária, incluindo trechos com e sem infraestrutura cicloviária.

2.1 Índices de nível de estresse para ciclistas

Até os anos 1980, o conceito de nível de serviço era usado para avaliar essencialmente as condições que as vias ofereciam para o tráfego de veículos motorizados. Segundo Providelo (2011), no entanto, diversos índices que consideram as necessidades e particularidades do transporte cicloviário foram desenvolvidos desde então. Um exemplo são as escalas que medem o nível de estresse dos ciclistas, que levam em conta não apenas os fatores que causam desconforto físico a estes, comumente adotados em escalas de nível de serviço, mas também o desconforto mental (SORTON; WALSH, 1994). Os dois principais índices utilizados para avaliar os níveis de estresse para ciclistas são o *Bicycle Stress Level* (BSL), de Sorton e Walsh (1994), e o *Level of Traffic Stress* (LTS), de Mekuria, Furth e Nixon (2012). Ambos classificam as vias de acordo com os níveis de estresse toleráveis por diferentes tipos de ciclistas, desde os mais experientes (e, por isso, geralmente mais tolerantes ao estresse) até os que utilizam a bicicleta apenas ocasionalmente (que, em geral, toleram apenas níveis mais baixos de estresse), conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios de classificação de níveis de estresse para ciclistas segundo a bibliografia consultada

ÍNDICE	FONTE	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO
<i>Bicycle Stress Level</i> (BSL)	Sorton e Walsh, 1994	Volume de veículos motorizados; número de faixas de tráfego; velocidade dos veículos motorizados; largura da faixa de tráfego utilizada pelo ciclista.
<i>Level of Traffic Stress</i> (LTS)	Mekuria, Furth e Nixon, 2012	Tipo de infraestrutura para ciclistas da via; velocidade regulamentada; número de faixas de tráfego por direção; largura da ciclofaixa e faixa de estacionamento; presença de barreiras; características das interseções.
<i>Level of Traffic Stress</i> (LTS) atualizado	Furth, 2017	Tipo de infraestrutura para ciclistas da via; velocidade predominante; número de faixas de tráfego por direção; largura da ciclofaixa e faixa de estacionamento; tráfego diário médio.

Fonte: Autor.

As principais vantagens do método LTS em relação ao BSL é que ele leva em consideração o tipo de infraestrutura para ciclista da via e permite avaliar, além dos segmentos, as interseções. Uma outra diferença importante entre as duas escalas é que o BSL necessita do volume de tráfego motorizado, informação que nem sempre é facilmente obtida, ao passo que os dados necessários ao LTS, na sua concepção original, podem com facilidade ser observados em campo. Além disso, a escala de Mekuria, Furth e Nixon (2012) divide os seus quatro níveis de maneira que a sua interpretação permite identificar quais tipos de ciclistas tolerariam utilizar cada via. Assim, vias da faixa LTS 1 seriam toleradas por todos os ciclistas, incluindo crianças; a faixa LTS 2 seria tolerada por aqueles interessados, mas preocupados; LTS 3 seria para ciclistas entusiastas e confiantes; e, por fim, vias classificadas na faixa LTS 4 só seriam toleradas por usuários fortes e destemidos.

A seguir estão apresentados os critérios de classificação utilizados no LTS para classificar ciclofaixas contíguas e não contíguas à faixa de estacionamento (Quadro 2) e vias de tráfego misto (Quadro 3). De acordo com os critérios do LTS, as ciclovias deveriam sempre ser classificadas como LTS 1, independentemente de suas características.

Quadro 2 - Critérios de classificação LTS original para ciclofaixas, não contíguas e contíguas à faixa de estacionamento

Ciclofaixas não contíguas à faixa de estacionamento				
	LTS ≥ 1	LTS ≥ 2	LTS ≥ 3	LTS ≥ 4
Número de faixas da via, por sentido de tráfego	1	2, caso os sentidos sejam divididos	> 2, ou 2 caso os sentidos não tenham divisão	- ¹
Soma da largura da ciclofaixa e faixa de estacionamento (incluindo faixa de pintura e sarjeta pavimentada)	≥ 1,80 m	≤ 1,60 m	-	-
Limite de velocidade ou velocidade predominante	≤ 50 km/h	-	60 km/h	≥ 65 km/h
Bloqueios na ciclofaixa	Raros	-	Frequentes	-
Ciclofaixas contíguas à faixa de estacionamento				
	LTS ≥ 1	LTS ≥ 2	LTS ≥ 3	LTS ≥ 4
Número de faixas da via, por sentido de tráfego	1	-	2 ou maior	-
Soma da largura da ciclofaixa e faixa de estacionamento ²	4,5 m	4,25 m ³	4 m	-
Limite de velocidade ou velocidade predominante	40 km/h	50 km/h	60 km/h	≥ 65 km/h
Bloqueios na ciclofaixa	Raro	-	Frequentes	-

¹ “-”: Fator não causa aumento para este nível LTS

² Incluindo faixa pintada e sarjeta pavimentada

³ Se limite de velocidade for < 40 km/h ou classe da via for residencial, utilizar LTS 2 para qualquer largura

Fonte: Adaptado de Mekuria, Furth e Nixon (2012).

Quadro 3 - Critérios de classificação LTS original para vias de tráfego misto

Limite de velocidade	Número de faixas da via, por sentido de tráfego		
	2 - 3	4 - 5	≥ 6
Até 40 km/h	LTS 1 ou 2 ¹	LTS 3	LTS 4
50 km/h	LTS 2 ou 3 ¹	LTS 4	LTS 4
A partir de 60 km/h	LTS 4	LTS 4	LTS 4

¹ Usar valor mais baixo para ruas sem divisão entre os sentidos de tráfego ou classificadas como residenciais e com menos de 3 faixas; usar valor mais alto em caso contrário.

Fonte: Adaptado de Mekuria, Furth e Nixon (2012).

Em 2017, um dos autores da versão original do LTS publicou uma atualização dos critérios utilizados para classificação de vias de tráfego misto e das ciclofaixas (FURTH, 2017). Para as vias onde os ciclistas dividem espaço com os demais veículos, a atualização leva em conta, além dos fatores originais, o Volume Médio Diário dos veículos motorizados na via. Além disso, esta atualização propõe que as faixas adicionais de acostamento e/ou estacionamento sejam classificadas com os mesmos critérios das ciclofaixas, desde que possuam baixa densidade de veículos estacionados. O novo LTS estabelecido em 2017 não fez alterações nos critérios de classificação das ciclovias e dos cruzamentos. O Quadro 4 apresenta os critérios para classificação das ciclofaixas e faixas de estacionamento pouco utilizadas, de acordo com a versão de 2017.

Quadro 4 - Critérios de classificação LTS versão 2017 para ciclofaixas não contíguas à faixa de estacionamento e faixas de estacionamento

Ciclofaixas não contíguas à faixa de estacionamento e faixas de estacionamento ¹							
Número de faixas por direção da via	Largura da ciclofaixa ²	Velocidade predominante					
		≤ 40 km/h	50 km/h	60 km/h	65 km/h	70km/h	≥ 80 km/h
1	≥ 1,80 m	1	2	2	3	3	3
	1,20 - 1,60 m	2	2	2	3	3	4
2	≥ 1,80 m	2	2	2	3	3	3
	1,20 - 1,60 m	2	2	2	3	3	4
3	qualquer largura	3	3	3	4	4	4

¹ Se ciclofaixa ou faixa de estacionamento estiver frequentemente bloqueada, utilizar critério de tráfego misto

² Incluindo faixa pintada e sarjeta pavimentada

Fonte: Adaptado de Furth (2017).

Uma limitação presente nestes dois índices apresentados, e comum em diversos outros, é que os critérios que utilizam são majoritariamente definidos sem levar em conta as percepções e opiniões de ciclistas. Para Huertas *et al.* (2020) as metodologias que utilizam informações da via e do tráfego são boas por permitir uma classificação fácil das vias utilizando dados facilmente disponíveis, no entanto são falhas por utilizar dados subjetivos e que podem variar de acordo com o contexto. Uma alternativa, de acordo com os autores, são metodologias que utilizam dados reais de percepção dos ciclistas. No entanto, estas possuem a limitação de necessitar de dados difíceis e caros de coletar, limitação também presente nos trabalhos que utilizam dados fisiológicos de estresse.

Assim, uma boa alternativa parece ser combinar estas diferentes técnicas para criar um método que seja facilmente replicável, que utilize dados fáceis de obter, mas que esteja baseado na percepção real dos ciclistas. Como isto é o que se pretende fazer neste trabalho, nas próximas

seções desta revisão da literatura são apresentados trabalhos que propuseram alterações ao LTS e outros que, utilizando medidas fisiológicas, encontraram os principais fatores relacionados à ocorrência de estresse em ciclistas.

2.2 Validações e alterações ao LTS - *Level of Traffic Stress*

A classificação LTS é uma das mais conhecidas quando o assunto é a classificação das vias com foco no modo ciclovitário. Isso se deve, principalmente, à facilidade de obter os dados que a ela são necessários e a fácil interpretação de seus resultados. Porém, por utilizar como principais parâmetros definições legais e outros estudos, a metodologia ainda carece de validações com dados coletados durante as viagens de ciclistas, o que diversos trabalhos têm abordado recentemente.

Para entender se o LTS explica as escolhas e comportamentos dos ciclistas, Wang *et al.* (2016) utilizaram dados de escolha modal e do comportamento dos usuários do sistema viário de uma comunidade americana de médio porte. Eles mostraram que as vias classificadas nas faixas de LTS mais baixas estavam associadas a comportamentos que indicavam menores níveis de desconforto e estresse dos ciclistas. No entanto, ao utilizar os dados de escolha modal, encontraram que as vias com LTS mais baixo não estavam associadas a um maior índice de uso por parte dos ciclistas, o que mostra que a classificação de Mekuria, Furth e Nixon (2012) parece não ser adequada para formular políticas de estímulo ao uso da bicicleta.

Outro estudo que buscou validar a metodologia do LTS foi o de Freitas *et al.* (2018), que, utilizou medidas fisiológicas de estresse de um ciclista durante seus deslocamento e mostrou que, para uma cidade de médio porte, não houve correlação entre as faixas de classificação do LTS e o estresse fisiológico. Porém, por ter utilizado dados de apenas um ciclista, este estudo falha ao não apresentar uma coleta de informações mais robusta e com um público diversificado.

Segundo os autores da metodologia original, a faixa de LTS 1 representaria níveis de estresse tão baixos que trechos assim classificados poderiam ser utilizados até mesmo por crianças. Ferencik e Marshall (2020) buscaram validar tal afirmação e para tanto entrevistaram um grupo de pais para identificar quais vias eles entendiam que eram suficientemente seguras para seus filhos pedalarem sozinhos e quais não eram. Os resultados permitiram perceber que a maioria das vias que os pais participantes da pesquisa consideravam

seguras estavam na faixa de LTS 1. No entanto, diversas vias classificadas como LTS 2 e 3 também foram classificadas como seguras, o que, de acordo com os autores, indica que alguns fatores não considerados pela classificação estão interferindo na percepção dos participantes.

Huertas *et al.* (2020) desenvolveram uma escala com 8 faixas baseada no LTS para classificar as vias da cidade de Bogotá. Uma interessante conclusão desta pesquisa é que mesmo trechos com ciclovias podem ser vias com níveis de estresse elevados, o que pode ser consequência das decisões governamentais locais. Na cidade, se prefere construir vias para ciclistas em vias arteriais, onde em geral a velocidade dos veículos é maior e há mais veículos pesados. Esta constatação contradiz o que foi assumido no LTS, onde todas as vias com ciclovias são classificadas na faixa de estresse mais baixo. Lowry, Furth e Hadden-Loh (2016), pensando na realidade da cidade de Seattle, nos Estados Unidos, desenvolveram uma classificação baseada no LTS que, utilizando a técnica de taxa marginal de substituição, adota como variáveis número de faixas, velocidade regulamentada e tipo de infraestrutura cicloviária do segmento. Já Bearn, Mingus e Watkins (2018) desenvolveram uma adaptação utilizando apenas informações facilmente disponíveis na cidade de Atlanta, também nos Estados Unidos: volume de tráfego, velocidade regulamentada, número de faixas da via, veículos estacionados na via e tipo de infraestrutura cicloviária.

Cobb, Jashami e Hurwitz (2021) usaram medidas fisiológicas e indicaram que, ao contrário do que é assumido pelo LTS, o aumento da velocidade dos veículos motorizados não induz maior estresse nos ciclistas. Conway (2015) utilizou dados disponíveis no *Open Street Map* e encontrou que bastam 5 informações para classificar as vias de maneira a criar uma classificação similar ao LTS. As informações necessárias são: se a via permite o tráfego de veículos motorizados; se a via é residencial ou não; número de faixas; classificação da via (primária, secundária ou terciária); e velocidade regulamentada. Além destes, Tucker e Manaugh (2018) classificaram as vias pelo LTS avaliando, apenas, se a via tem infraestrutura cicloviária ou é de tráfego misto, se é uma via residencial ou comercial e a classificação da via.

2.3 Medidas fisiológicas e fatores causadores de estresse

Utilizar modos ativos de transportes, especialmente a bicicleta, em substituição aos modos motorizados parece ser uma forma bastante eficiente de reduzir o estresse ao qual usuários de redes de transporte urbano estão expostos durante suas viagens diárias (YANG *et al.*, 2021). Além disso, pedalar parece estar associado a maiores níveis de felicidade (ZHU;

FAN, 2018), maior bem-estar e melhora no humor, mesmo quando os trajetos são mais longos (LANCÉE; VEENHOVEN; BURGER, 2017; GLASGOW *et al.*, 2019), e menor percepção de estresse (LAJEUNESSE; RODRÍGUEZ, 2012). Estes fatores, de certa forma, contradizem a crença que alguns podem ter que ciclistas possam se sentir mais estressados devido a uma sensação de menor segurança e maior vulnerabilidade do que ocupantes de veículos motorizados (YANG *et al.*, 2021).

No entanto, ciclistas não estão livres de momentos desconfortáveis enquanto pedalam e, por isso, diversos trabalhos têm se dedicado a identificar momentos reais de estresse para os ciclistas, utilizando, para tanto, principalmente reações fisiológicas. Uma das medidas comumente utilizadas é a condutividade elétrica da pele, que está relacionada à diminuição da resistência elétrica desta devido ao aumento do suor gerado quando, durante a realização de alguma atividade, o sistema nervoso detecta um momento de desconforto (NAVEA; BUENVENIDA; CRUZ, 2019). Por permitir que a coleta das reações seja feita de maneira não intrusiva, o uso do suor da pele parece ser ideal para avaliar os níveis de estresse de pessoas durante suas atividades rotineiras (YANG *et al.*, 2021).

Um dos trabalhos que utilizou tal abordagem para encontrar os principais fatores relacionados à ocorrência de estresse foi o de Zeile *et al.* (2016), que analisaram vídeos gravados enquanto os participantes realizavam suas viagens e tinham suas medidas fisiológicas coletadas. Esta análise mostrou que apesar de não ser possível estimar os elementos causadores de 100% dos momentos de estresse, a abordagem foi adequada para identificar situações críticas, tais como obstáculos, interseções, problemas no pavimento e conflitos entre ciclistas e pedestres. O trabalho de Kyriakou *et al.* (2019) foi mais específico e encontrou que 84% dos momentos identificados como de estresse, ao se analisar medidas fisiológicas, foram reportados pelos ciclistas como situações que geraram desconforto. Os demais 16% podem ser explicados tanto por valores falsos positivos (situações em que as medidas fisiológicas podem ser afetadas por fatores outros que não o estresse) ou de eventos que provocaram alterações fisiológicas apesar dos participantes não os terem reconhecido conscientemente como estresse.

O uso da temperatura e condutividade elétrica da pele para caracterizar locais de estresse tem sido particularmente útil para indicar problemas relacionados à infraestrutura viária e ao meio ambiente urbano, que devem receber atenção dos gestores dos sistemas de transporte que visem criar redes mais adequadas ao transporte ciclovitário. Diversos trabalhos se dedicaram exclusivamente a identificar este tipo de conflito. Teixeira *et al.* (2020), que utilizaram os

mesmos indicadores fisiológicos que serão utilizados no presente estudo, concluíram que tais medidas possuem associação com elementos da infraestrutura cicloviária, especialmente com a segregação física, que causou as maiores variações no estresse de ciclistas. Nuñez *et al.* (2018) conduziram uma análise dos vídeos de ciclistas obtidos simultaneamente à coleta da condutividade elétrica e temperatura da pele e mostraram que os momentos de maior estresse foram gerados pela falta de espaço para ciclistas, início ou fim abrupto das infraestruturas cicloviárias e conflitos nas interseções.

Caviedes e Figliozzi (2018), que utilizaram apenas a condutividade elétrica da pele, estudaram especificamente a situação dos falsos positivos e não encontraram correlação entre a velocidade dos ciclistas e a temperatura ambiente, fatores que podem aumentar a produção de suor dos participantes e mascarar os resultados de estresse quando se utiliza a condutividade elétrica como indicador fisiológico, tal como feito por Kyriakou *et al.* (2019). Uma outra contribuição importante deste trabalho foi mostrar que os maiores índices de estresse coincidem com momentos em que o caminho é estreito ou irregular e quando a faixa para ciclistas fica próxima à faixa de estacionamento de automóveis. Outro trabalho que utilizou a condutividade elétrica da pele foi o de Cobb *et al.* (2021), que mostraram que situações de tráfego intenso geraram mais estresse e que, em contrapartida, a separação física dos ciclistas produziu níveis de estresse mais baixos. Por fim, outra importante contribuição deste estudo foi encontrar que não houve correlação entre a velocidade do tráfego e os níveis de conforto dos ciclistas.

Além dos fatores fisiológicos relacionados à produção do suor da pele, alguns trabalhos utilizaram a frequência cardíaca como indicador de estresse. Rybarczyk *et al.* (2020) utilizaram tal indicador e identificaram que a amplitude, profundidade e alcance do campo de visão dos ciclistas, além da densidade de veículos estacionados e das interseções e aclives, foram fatores que geraram aumento nos batimentos cardíacos dos participantes, o que indicaria situações de desconforto. As vias locais, sem separação entre os sentidos de tráfego e com menores volumes e velocidades de tráfego, se mostraram locais de estresse consideravelmente menor do que vias coletoras e arteriais, de acordo com Fitch, Sharpnack e Handy (2020). Além disso, os autores sugerem que uma alternativa para melhorar a condição de circulação para ciclistas nas vias de maior estresse é aumentar a largura de faixas a eles dedicadas, enquanto se reduz a largura das faixas para o fluxo de veículos motorizados. Já para Hale *et al.* (2019), as manobras de ultrapassagem possuem efeito sobre o comportamento dos ciclistas, visto que quanto menor a distância entre as bicicletas e os veículos motorizados durante a manobra de ultrapassagem,

maiores são as alterações na frequência cardíaca do primeiro grupo. O Quadro 5 apresenta alguns dos principais fatores encontrados por estas pesquisas.

Quadro 5 - Principais fatores relacionados ao estresse fisiológico em ciclistas, identificados por diferentes autores

AUTORES	FATORES ASSOCIADOS A MAIORES ÍNDICES DE ESTRESSE	FATORES ASSOCIADOS A MENORES ÍNDICES DE ESTRESSE	INDICADOR FISIOLÓGICO UTILIZADO
Vieira <i>et al.</i> , 2016	Topografia acidentada; veículos passando próximos; presença de veículos estacionados.	-	Frequência cardíaca
Zeile <i>et al.</i> , 2016	Veículos passando próximo; longos períodos de espera em tráfego intenso; pavimento danificado; interseções perigosas; obstáculos físicos na via; necessidade de ultrapassar um veículo; presença de pedestres na via.	-	Temperatura e condutividade elétrica da pele
Caviedes e Figliozzi, 2018	Proximidade com veículos motorizados; veículos ou pessoas bloqueando o trajeto; interseções; espaço estreito; caminho irregular; tráfego intenso; presença de veículos estacionados.	Separação física para ciclistas.	Condutividade elétrica da pele
Núñez <i>et al.</i> , 2018	Espaço estreito; início ou fim abrupto das infraestruturas cicloviárias; conflitos nas interseções.	-	Temperatura e condutividade elétrica da pele
Hale <i>et al.</i> , 2019	Veículos passando próximos; veículos estacionados na ciclofaixa; necessidade de ultrapassar um veículo de grande porte.	-	Frequência cardíaca
Kyriakou <i>et al.</i> , 2019	Tráfego intenso.	Faixas largas para uso misto de ciclistas e pedestres.	Temperatura e condutividade elétrica da pele

Fitch, Sharpnack e Handy, 2020	Tráfego intenso em vias com duas faixas para tráfego geral e uma para ciclistas; vias coletoras e arteriais.	Tráfego calmo; vias locais; vias com prioridade para bicicletas; faixas para bicicleta mais largas.	Frequência cardíaca
Rybarczyk <i>et al.</i> , 2020	Ambiente aberto (grande amplitude, profundidade e alcance do campo de visão); presença de veículos estacionados; interseções; aclives.	Ambiente confinado; áreas residenciais; infraestruturas cicloviárias conectadas e acessíveis.	Frequência cardíaca
Teixeira <i>et al.</i> , 2020	Infraestrutura cicloviária no nível da rua; vias primárias; conversões nas interseções; vias não pavimentadas ou com pavimento em pedra; ruídos. tempo pedalando	Infraestrutura cicloviária fisicamente separada; vias com dois sentidos de tráfego; obras na via.	Temperatura e condutividade elétrica da pele
Cobb, Jashami e Hurwitz, 2021	Tráfego intenso.	Separação física para ciclistas.	Condutividade elétrica da pele

Fonte: Autor.

Apesar de identificarem quais elementos do sistema viário estão diretamente relacionados ao estresse dos ciclistas, uma das principais limitações destes trabalhos é que eles não apresentam, em sua maioria, uma ferramenta que possa ser facilmente utilizada para orientar a tomada de decisão por parte dos usuários (quanto a quais vias são mais confortáveis) e dos gestores públicos (quais tipos de vias e infraestruturas viárias devem ser priorizadas visando estimular o uso do modo cicloviário). Os índices de nível de estresse para ciclistas, apresentados na seção 2.1, conseguem endereçar melhor estas questões, no entanto estes falham, como já discutido, ao não privilegiar medições realizadas em situações reais para elaborar suas respectivas metodologias de classificação das vias. Assim, uma combinação destas duas abordagens parece ser um meio interessante de auxiliar a tomada de decisão dos ciclistas e gestores públicos. No entanto, pelo que se pode perceber pela pesquisa bibliográfica apresentada neste capítulo, parece haver uma lacuna de estudos que combinem o estresse fisiológico com métodos de classificação das vias para o modo cicloviário.

3 METODOLOGIA

Nesta seção inicialmente será apresentada, de forma breve, a metodologia utilizada para coleta dos dados de estresse fisiológico de ciclistas. Na sequência serão apresentados os procedimentos realizados para criação de uma escala de estresse fisiológico, comparação desta com o LTS, análise dos vídeos para identificar os principais causadores de estresse e incorporação destes fatores ao LTS.

Um dos objetivos deste estudo é avaliar a aplicabilidade do LTS para classificar vias de uma cidade de médio porte, tendo como base medidas de estresse fisiológico de ciclistas pedalando por uma rota. Esta rota foi determinada de tal maneira que incluiu vias com diferentes características, tais como: presença ou ausência de ciclovia/ciclofaixa; tipo e estado de conservação do pavimento e variados níveis de hierarquia e sentido de tráfego. Foram selecionados ao todo 53 segmentos (considera-se como segmento o trecho da via contido entre duas interseções) da rede viária de São Carlos, cidade de médio porte no estado de São Paulo. As vias, o tipo de infraestrutura para ciclistas e algumas imagens capturadas durante a pesquisa estão apresentadas na Figura 1.

Os ciclistas que participaram desta pesquisa foram selecionados por meio de anúncios *online* (publicados em redes sociais e em *sites* locais), cartazes impressos (afixados em locais públicos) e convites pessoais feitos pelos pesquisadores, de forma direta, a potenciais participantes. Além disso, foi definido como pré-requisito que o ciclista deveria ter idade entre 18-30 anos, não ter nenhuma condição física ou de saúde que o impeça de andar de bicicleta e ter pedalado pelo menos 12 vezes nos últimos 3 meses. Assim, 15 ciclistas foram selecionados para participar da pesquisa. As viagens foram realizadas em diferentes horários, englobando períodos de maior e menor tráfego, de dias úteis durante o mês de agosto de 2019, período com temperaturas amenas na cidade de São Carlos.

Figura 1 - Segmentos do sistema viário da cidade de São Carlos - SP analisados neste estudo e suas respectivas infraestruturas cicloviárias, com imagens ilustrativas de alguns trechos

^a Trecho com Ciclovia; ^b Trecho com veículos passando próximos; ^c Trecho com obstáculos nas vias e alicive; ^d Trecho com conflito com mobiliário urbano; ^e Trecho em alicive e com pavimento ruim; ^f Trecho com Ciclovia

Fonte: Autor.

3.1 Coleta de dados de estresse

Para obter os dados de estresse foi utilizada uma *smartband* que registra continuamente (a cada segundo) a condutividade elétrica e temperatura da pele dos ciclistas, além da coordenada geográfica (PAPASTEFANOU, 2008). Tais medidas fisiológicas foram definidas por já estarem sendo utilizadas por diversos trabalhos recentes para medir o estresse de ciclistas durante suas viagens e por terem se mostrado adequadas para tal finalidade (ZEILE *et al.*, 2016; CAVIEDES; FIGLIOZZI, 2018; FREITAS *et al.*, 2018; NUÑEZ *et al.*, 2018; KYRIAKOU *et al.*, 2019; TEIXEIRA *et al.*, 2020). De acordo com Caviedes e Figliozzi (2018) não foi encontrada correlação entre velocidade dos ciclistas e temperatura ambiente, dois fatores que poderiam interferir na produção de suor, e a condutividade elétrica da pele dos ciclistas, sugerindo que esta medida consegue medir com eficiência as alterações fisiológicas causadas por aspectos emocionais. Além disso, colocar a *smartband* no punho dos ciclistas é mais adequado do que utilizar eletrodos presos aos dedos, pois neste caso a condutividade elétrica poderia ser mais afetada pelo suor decorrente da atividade física inerente ao processo de andar de bicicleta. Quando os eletrodos são presos ao punho, a interferência deste suor é menor (BERGER; DÖRRZAPF, 2018).

Na sequência, um momento de estresse pode ser definido quando a temperatura da pele diminui alguns segundos após um aumento na condutividade elétrica da pele (PAPASTEFANOU, 2008). Para identificar tais variações, cada valor de temperatura e condutividade elétrica da pele foi comparado com a média dos 250 valores mais próximos. Na sequência, uma suavização dos dados foi feita utilizando a Estimativa de Densidade Kernel, o que permitiu identificar, com mais facilidade, aumento ou redução nos valores que caracterizam os momentos de estresse. O procedimento de coleta e tratamento dos dados de estresse fisiológico que foi utilizado neste trabalho está apresentado com grande riqueza de detalhes no artigo de Teixeira *et al.* (2020) e no Anexo A, ao final desta dissertação.

Os dados de estresse foram então agrupados, de acordo com o segmento em que foram registrados, utilizando o *software* QGIS. A partir de *clusters* obtidos com base no valor médio de estresse por segmento, foi criada uma escala de estresse fisiológico com 4 faixas, aqui denominada de Índice de Estresse Fisiológico (em inglês, *Index of Physiological Stress* - IPS), sendo a faixa IPS 1 a de menor estresse e a faixa IPS 4 a de maior estresse.

A escala LTS utilizada foi uma junção da versão original, proposta em 2012 (utilizada na classificação dos segmentos de tráfego misto e ciclovias) e da adaptação proposta em 2017

(utilizada para classificar as ciclofaixas e faixas de estacionamento). A versão mais recente não foi integralmente utilizada para classificar os segmentos de tráfego misto, pois neste caso seria necessário possuir informações sobre o Volume Médio Diário dos veículos motorizados, que não estava disponível para esta pesquisa. Além disso, esta versão não traz proposta de classificação das ciclovias, que deveria ser feita de acordo com os critérios da versão original.

Para verificar se a classificação obtida com o LTS possui concordância com esta nova escala foram utilizados o teste de correlação de *Spearman* e o coeficiente *Kappa*. O coeficiente de correlação de postos de *Spearman* (SPEARMAN, 1904) é a versão não paramétrica do coeficiente de correlação de *Pearson*. É um teste estatístico que mede a intensidade da associação entre duas variáveis. O coeficiente (ρ) é calculado pela equação:

$$\rho = 1 - \frac{6S_d}{n(n^2 - 1)}$$

Onde:

S_d é a soma da diferença do ranqueamento de cada observação em cada uma das variáveis;

n é o número de observações;

O coeficiente de correlação de *Spearman* pode variar de -1 a 1, sendo que: quanto mais próximo de 1, mais forte é a correlação direta entre as variáveis; mais próximo de 0, mais fraca é a correlação e quanto mais próxima de -1, mais forte é a correlação inversa entre elas.

O outro teste estatístico que foi utilizado para medir a correlação entre o LTS e o IPS é o teste de concordância *Kappa* (COHEN, 1960) que mede o grau de concordância entre duas escalas. Mais especificamente, foi utilizado o coeficiente *Kappa* ponderado, que leva em conta o grau de não concordância entre as classificações, ou seja, além de considerar se há ou não concordância, esta versão mede ainda quão grande é a diferença entre a classificação de cada uma das observações entre as duas escalas. O coeficiente *Kappa* ponderado pode ser calculado pela expressão:

$$\kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

Onde:

P_o é a porcentagem de concordância observada entre as escalas;

P_c é a porcentagem de concordância esperada.

Ambas P_o e P_c podem ser calculadas pela fórmula:

$$P_n = \frac{\sum w_{ij} Pn_{ij}}{w_{max}}$$

Onde:

w_{ij} são os pesos - no caso do método linear utilizado neste trabalho, é a diferença em módulo da classificação de cada observação pelas duas escalas;

Pn_{ij} é a porcentagem de concordância;

w_{max} é o maior valor de w_{ij} possível;

P_n é a porcentagem observada (P_o) ou esperada (P_c) de concordância.

Por fim, para melhor interpretação do teste de concordância *Kappa* foram utilizadas as faixas de classificação propostas por Landis e Koch (1977), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Faixas de classificação do teste de concordância *Kappa*

Valor de <i>Kappa</i>	Interpretação
< 0	Concordância insignificante
0 - 0,19	Concordância fraca
0,20 - 0,39	Concordância razoável
0,40 - 0,59	Concordância moderada
0,60 - 0,79	Concordância forte
> 0,80	Concordância quase perfeita

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

3.2 Análise dos vídeos coletados durante as viagens

Durante as viagens, os ciclistas eram acompanhados por um pesquisador, cuja bicicleta estava equipada com uma câmera de alta resolução acoplada ao guidão. Este processo permitiu que os momentos identificados como de estresse pudessem ser analisados nos vídeos para encontrar os seus potenciais causadores. A integração de dados de sensor com vídeos permite um entendimento mais detalhado da percepção dos ciclistas, visto que permite identificar os locais e situações que podem gerar estresse (LIU; FIGLIOZZI, 2016). Algumas capturas destes vídeos são exibidas na Figura 1, na qual é possível perceber diferentes ambientes e conflitos aos quais os ciclistas estavam expostos durante suas viagens.

Assim, foi possível realizar uma análise destes vídeos para tentar identificar potenciais causadores de estresse não apenas nos segmentos onde se identificou alguma situação estressora, mas também naqueles em que os dados fisiológicos dos ciclistas não permitiram identificar desconforto. O procedimento de buscar nos vídeos momentos desconfortáveis para

os ciclistas vem sendo utilizado por diversos autores (LIU; FIGLIOZZI, 2016; VIEIRA *et al.*, 2016; ZEILE *et al.*, 2016; CAVIEDES; FIGLIOZZI, 2018; NUÑEZ *et al.*, 2018; HALE *et al.*, 2019; KYRIAKOU *et al.*, 2019; FITCH; SHARPNACK; HANDY, 2020; RYBARCZYK *et al.*, 2020). Kyriakou *et al.* (2019) encontraram que fatores relatados por ciclistas em entrevistas e coletados dos vídeos das viagens permitiram encontrar os principais momentos de estresse fisiológico. Para Zeile *et al.* (2016), apesar de não encontrar 100% dos momentos de estresse, esta combinação de dados proporciona uma nova visão das vias e permite identificar deficiências no planejamento urbano. A busca por potenciais causadores de estresse foi baseada nos fatores apresentados no Quadro 5.

Após a análise dos vídeos e o levantamento de todas as variáveis para os segmentos em análise, o objetivo era encontrar quais destas variáveis estavam mais fortemente relacionadas com a ocorrência, ou não ocorrência, de estresse. Para tanto, diversas técnicas estatísticas foram utilizadas: Regressão (Linear *Stepwise*, Logística, Ordinal, Nominal e *Lasso*), Árvore de Decisão, Florestas Aleatórias e Redes Neurais. Para permitir a utilização das técnicas, a variável dependente, estresse, foi utilizada de diferentes maneiras, como será detalhado na seção de resultados. Apesar de ser esperada certa uniformidade nas variáveis consideradas mais importantes por quase todos estes modelos (fato confirmado pelos resultados do presente estudo, como será mostrado no próximo capítulo), optou-se por utilizar, na etapa final, as variáveis encontradas pela técnica de Florestas Aleatórias, visto que esta, além de uma maior acurácia (se comparada as demais técnicas empregadas), se mostra mais simples de interpretar, além de prover uma predição com boa precisão (GHATASHEH, 2014).

A técnica de Florestas Aleatórias, desenvolvida por Breiman (2001), gera diversos modelos aleatórios de Árvores de Decisão, uma técnica de *machine learning* que cria uma espécie de fluxograma para auxiliar na tomada de decisão, e as combina, de forma a melhorar a precisão do modelo final. Um dos resultados da aplicação desta técnica é um índice que representa o quanto cada uma das variáveis independentes é importante para a predição da variável dependente, neste caso o estresse. Em relação à técnica de Árvore de Decisão, a principal vantagem desta técnica é que ela minimiza a influência de *outliers* no modelo final e apresenta resultados mais robustos (SHAIKHINA *et al.*, 2019)

É importante ressaltar que, para a melhor aplicação da técnica de Florestas Aleatórias, o estresse foi utilizado de forma desagrupada, isto é, o estresse de cada ciclista em cada um dos 53 segmentos foi utilizado, não uma média dos valores observados por segmento como foi feito

no momento de criação dos *cluster* para determinar as faixas de classificação do IPS. Por fim, os valores foram transformados em uma variável *dummy*, onde o valor 0 foi atribuído aos segmentos onde não foi registrado estresse e o valor 1 é para os casos onde houve registro, independente da magnitude deste. A transformação em variável *dummy* foi mais adequada para permitir que se pudesse treinar o algoritmo de Florestas Aleatórias para prever a ocorrência ou não de estresse.

3.3 Alteração nos critérios do LTS

A partir das variáveis identificadas como mais importantes, foram propostas alterações na classificação LTS, visando aproximá-la das medidas de estresse obtidas em campo e que são, por isso, mais adequadas para acessar a percepção dos usuários, pelo menos para o caso estudado. Para tanto, as variáveis que se mostraram mais importantes para a Florestas Aleatórias foram adicionadas ao LTS, testando inúmeros cenários (designação dada aos casos em que os parâmetros utilizados para a construção da técnica assumiram diferentes valores, em busca da melhor combinação). Os testes de correlação de *Spearman* e o coeficiente de *Kappa* foram então novamente utilizados para estimar o nível de concordância entre as escalas, após as alterações.

A Figura 2 sumariza o procedimento utilizado para aplicação desta metodologia, bem como as ferramentas utilizadas para tanto.

Figura 2: Procedimentos e ferramentas utilizados para aplicação da metodologia, associados aos subitens correspondentes no capítulo de Resultados

Fonte: Autor.

4 RESULTADOS

Com o propósito de avaliar a aplicabilidade do *Level of Traffic Stress*, ou LTS, proposto por Mekuria, Furth e Nixon (2012), em uma cidade de médio porte brasileiro, o presente estudo utiliza um sensor que registra a condutividade elétrica e temperatura da pele (PAPASTEFANOU, 2008) para criar uma escala de estresse com dados colhidos de ciclistas enquanto pedalavam. Esta escala foi comparada com valores de LTS para as vias percorridas, buscando identificar se há correlação entre as classificações. Na sequência, vídeos coletados durante as viagens dos participantes da pesquisa foram analisados com o objetivo de identificar os principais fatores que levaram os ciclistas a situações de estresse. Por fim, os principais elementos identificados na etapa anterior foram incorporados à escala LTS com o intuito de melhorar a correlação entre esta e o estresse fisiológico. Nesta seção primeiramente serão apresentados os resultados referentes à correlação entre o LTS e o estresse fisiológico. Na sequência, o resultado das análises dos vídeos e identificação dos principais estressores é apresentado e, por fim, é mostrada a incorporação ao LTS dos fatores encontrados no passo anterior.

4.1 Correlação entre LTS e estresse fisiológico

A classificação dos segmentos que compõem a rota considerada nesta pesquisa pelo LTS, conforme os critérios apresentados nos Quadros 2, 3 e 4, resultou em 24 segmentos classificados como LTS 1, 25 como LTS 2, apenas 1 como LTS 3 e 3 como LTS 4, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Classificação dos segmentos analisados em São Carlos - SP, segundo o LTS (*Level of Traffic Stress*)

Fonte: Autor.

Com dados coletados a cada segundo, foram obtidos 23.420 registros dos quinze ciclistas, contendo as coordenadas geográficas e os dados fisiológicos usados para determinar o estresse em cada ponto. Ao todo, 945 pontos apresentaram simultaneamente aumento da condutividade elétrica e diminuição da temperatura da pele, condição que caracteriza um momento de estresse. Considerando-se os dados coletados por segmento, os ciclistas se sentiram estressados, em média, durante 4,2% do tempo. A Figura 4 mostra um “mapa de calor” indicando como foi a distribuição do estresse ao longo da rota.

Figura 4 - Mapa de calor da distribuição dos pontos de estresse ao longo da rota selecionada na cidade de São Carlos - SP

Fonte: Autor.

De posse destas informações foi possível criar uma escala de 4 níveis para classificar as vias quanto ao estresse fisiológico (IPS). As faixas de classificação, apresentadas na Tabela 2, foram determinadas utilizando um *cluster* pelo método *k-means*, criado a partir da média da porcentagem de estresse dos 53 segmentos viários estudados. Na Figura 5 é apresentada a classificação IPS de cada um dos segmentos considerados na pesquisa.

Tabela 2 - Faixas de classificação IPS (*Index of Physiological Stress*) para segmentos da cidade de São Carlos - SP

Faixa	IPS 1	IPS 2	IPS 3	IPS 4
% estresse	< 2,7%	2,7 - 4,2%	4,2 - 6,7%	> 6,7%
Nº de segmentos	6	26	15	6

Fonte: Autor.

Figura 5 - Classificação dos segmentos analisados em São Carlos - SP, segundo o IPS (*Index of Physiological Stress*)

Fonte: Autor.

Com todos os segmentos classificados por ambas as escalas, dois testes estatísticos foram utilizados (coeficiente de correlação de *Spearman* e teste de concordância *Kappa*) para verificar se haveria evidências de concordância entre as escalas. Considerando um nível de confiança de 95%, o Teste de *Spearman* não aponta evidências de correlação entre as variáveis ($\rho = -0,0994$; $p\text{-valor} = 0,4790$) e o de *Kappa* indica uma concordância fraca ($\kappa = 0,0131$), de acordo com a classificação proposta por Landis e Koch (1977), detalhada na Tabela 1, no capítulo de metodologia. Uma tabela de contingência (Tabela 3) permite identificar a quantidade de vias em cada uma das faixas das duas escalas e ajuda a entender melhor a relação entre elas. Quanto maiores os valores na diagonal principal da tabela de contingência, maior seria a correlação entre as escalas. No entanto, o que se nota é que apenas para a faixa 2 os maiores valores ficaram na diagonal principal, enquanto para as demais faixas os maiores números ficaram em células diferentes.

Tabela 3 - Tabela de contingência (*Level of Traffic Stress* - LTS) x (*Index of Physiological Stress* - IPS) dos segmentos analisados na cidade de São Carlos - SP, com destaque para as células nas quais se esperaria mais valores

LTS	IPS				Total
	1	2	3	4	
1	2	10	9	3	24
2	4	15	4	2	25
3	0	0	0	1	1
4	0	1	2	0	3
Total	6	26	15	6	53

Fonte: Autor.

4.2 Análise dos vídeos

Como os resultados apresentados anteriormente indicaram fraca correlação entre as escalas, o próximo passo foi analisar os vídeos registrados durante a coleta de dados para tentar identificar fatores que poderiam estar relacionados à ocorrência de estresse. Para tanto, os vídeos das viagens dos 15 ciclistas foram analisados segmento a segmento, registrando todos os elementos que ocorreram, e que poderiam potencialmente estar impactando na sensação de estresse. Com os registros coletados dos 15 participantes pedalando pelos 53 segmentos (excluídos os casos onde os dados coletados apresentaram algum problema) se obteve um total de 785 registros para cada uma das variáveis identificadas.

Na sequência, algumas técnicas estatísticas foram utilizadas buscando identificar quais foram as variáveis que mais influenciaram no sentimento de estresse pelos ciclistas. Na aplicação deste modelo as 19 variáveis independentes foram utilizadas da seguinte forma: 16 eram *dummy*; 1 era categórica; e 2 contínuas, sendo estas últimas os valores de aclive e declive que foram coletados com auxílio do *software Google Earth*. Já a variável dependente, o estresse, foi utilizada de pelo menos 3 maneiras diferentes, de acordo com as características do método aplicado: como variável contínua (a variável considerada foi a própria porcentagem de estresse encontrado); como variável *dummy* (os casos onde não houve estresse foram representados por 0 e onde este ocorreu, independentemente do valor, receberam o valor 1); e a partir de *clusters* utilizando o método *k-means* (para testar e identificar qual o melhor cenário, a variável foi dividida em 3, 4, 5 ou 6 clusters). A Tabela 4 apresenta as variáveis e o significado de cada classe.

Tabela 4 - Variáveis encontradas nos vídeos e como foram utilizadas para aplicação das técnicas estatísticas selecionadas

Variável	Nome abreviado	Tipo	Classes
Estresse*	Stress	De acordo com a técnica empregada	-
Aclive	Aclive	Contínua	Valores que podem variar de 0,000 a 1,000 de acordo com a declividade do terreno
Declive	Declive		
Obstáculos na via	Obstac	Categórica	-1: Obstáculos apenas na faixa à esquerda 0: Não há obstáculos 1: Obstáculos apenas na faixa à direita 2: Obstáculos em ambas faixas
Ambiente aberto	AmbAberto	Dummy	0: Não se observou a variável no segmento 1: Observou-se a variável no segmento
Ambiente confinado	AmbConfinado		
Conflito com mobiliário urbano	MobiliarioUrbano		
Dificuldades no cruzamento	DificuldadeCruz		
Faixa de estacionamento demarcada e pouco utilizada	FaixaExtra		
Iluminação pública ruim	Iluminacao		
Necessidade de mudar lado da via	MudancaLado		
Pavimento ruim	Pavimento		
Pedestres na via	Pedestres		
Presença de ciclofaixa	Ciclofaixa		
Presença de ciclovias	Ciclovias		
Rotatória	Rotatoria		
Tráfego de moderado a intenso	Trafego		
Veículos passando próximos	Prox_Veic		
Veículos passando próximos no cruzamento	ProxVeic_Int		
Velocidade alta dos veículos motorizados	VelocAlta		

*: variável dependente

Fonte: Autor.

A Tabela 5 apresenta os principais resultados e as variáveis que mais contribuíram para o modelo, correspondentes à aplicação dos métodos de Regressão Linear *Stepwise*, Regressão Logística, Regressão Ordinal, Regressão Nominal, Regressão *Lasso*, Árvore de decisão, Florestas Aleatórias e Redes Neurais. Como em alguns destes métodos foram testados diferentes cenários, variando alguns parâmetros do modelo ou da variável dependente, é aqui apresentado apenas o melhor cenário para cada um dos métodos. Considerou-se como melhor cenário aqueles em que os indicadores do modelo ficaram mais próximos do que a literatura considera ideal. Na Tabela 5, as variáveis destacadas (cujas células possuem preenchimentos coloridos) correspondem às variáveis que foram consideradas como mais importantes pela técnica de Floresta Aleatória, adotada como referência para a etapa final do estudo (como mencionado na metodologia). O destaque ajuda a perceber a grande frequência em que tais variáveis foram consideradas importantes também pelas outras técnicas.

Tabela 5 - Resultado da aplicação de diversas técnicas estatísticas para identificação das variáveis mais importantes dentre aquelas selecionadas nos vídeos, com destaque, em todas as técnicas, para as variáveis importantes encontradas com a aplicação da técnica de Florestas Aleatórias

Método	Forma como a variável dependente foi considerada	Variáveis independentes em ordem de importância	Principais indicadores do modelo
Regressão Linear <i>Stepwise</i> ¹	Contínua	Aclive	R ² = 0,285
		Declive	
		Veículos passando próximos no cruzamento	
		Ambiente Aberto	
		Obstáculos na via	
		Rotatória	
Regressão Logística ¹	Dummy (0 - não estresse ou 1 - estresse)	Veículo passando próximos	Acurácia = 63,1%
		Ambiente Confinado	
		Aclive	
		Rotatória	
		Veículos passando próximos no cruzamento	
		Veículo passando próximos	
		Obstáculos na via	
		Presença de ciclovias	
Regressão Ordinal ²	Cluster em 3 faixas	Presença de ciclofaixa	R ² = 0,048
		Dificuldades no cruzamento	
	Cluster em 3 faixas	Aclive	
		Ambiente Aberto	
		Ciclovias	
	Cluster em 3 faixas	Aclive	

Regressão Nominal¹		Ambiente Aberto	Acurácia = 58,1%
		Ambiente Aberto	
		Rotatória	
		Conflito com mobiliário urbano	
		Dificuldades no cruzamento	
		Necessidade de mudar lado da via	
		Velocidade alta dos veículos motorizados	
		Veículos passando próximos no cruzamento	
		Veículo passando próximos	
		Ambiente Confinado	
		Aclive	
		Rotatória	
		Obstáculos na via	
		Declive	
		Veículos passando próximos no cruzamento	
		Tráfego de moderado a intenso	
		Ambiente Confinado	
		Presença de ciclofaixa	
		Aclive	
		Declive	
		Obstáculos na via	
		Rotatória	
		Aclive	
		Declive	
		Veículos passando próximos	
		Obstáculos na via	
		Pavimento Ruim	
		Rotatória	
Regressão Lasso³	Cluster em 6 faixas		R ² = 0,137
Árvore de Decisão¹	Cluster em 6 faixas		Acurácia = 56,9%
Florestas Aleatórias³	Dummy (0 - não estresse ou 1 - estresse)		Acurácia = 65,4%
Redes Neurais³	Cluster em 6 faixas		Predições corretas = 59,7%

¹ Considera as variáveis que o modelo incluiu como significantes.

² Considera as variáveis significativas para o modelo, considerando $\alpha = 5\%$.

³ Considera as variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância.

Fonte: Autor.

Devido à alta acurácia e facilidade de interpretação de seus resultados, optou-se por analisar aqui apenas os resultados da aplicação da técnica de Florestas Aleatórias, detalhados a seguir. Vale ressaltar que as 4 variáveis que a técnica considera como as mais importantes estão constantemente entre as mais importantes de outras técnicas também. Para facilitar esta visualização, tais variáveis estão destacadas na Tabela 5.

No Apêndice A são apresentados, com maior riqueza de detalhes, os parâmetros considerados em cada um dos métodos, além dos resultados detalhados decorrentes da

aplicação de cada um deles. Neste apêndice, estão apresentados os cenários testados para cada uma das técnicas aplicadas. O que diferencia os diferentes cenários dentro de um mesmo teste são os parâmetros utilizados na aplicação.

4.2.3 Identificação de variáveis mais relevantes

A técnica de Florestas Aleatórias foi utilizada para encontrar quais variáveis eram mais importantes na ocorrência, ou não, de estresse. Na aplicação deste modelo, as variáveis independentes foram utilizadas tal qual descrito na Tabela 4. Já a variável dependente, o estresse, foi transformada em uma variável *dummy*, de tal forma que segmentos que não apresentaram registro de estresse receberam o valor 0 e aqueles no qual ele ocorreu foram designados como 1. O banco de dados foi então dividido entre dados de treinamento (80% dos dados) e de teste (20%).

Os principais resultados da aplicação da técnica de Florestas Aleatórias nos dados de teste estão apresentados na Tabela 6, que contém alguns índices do modelo. De acordo com Shaikhina *et al.* (2019) os principais parâmetros para avaliar a precisão dos resultados da aplicação das Florestas Aleatórias são a Acurácia (proporção de observações que foi corretamente identificada), Valor Preditivo Positivo (ou Precisão, que representa a probabilidade de um valor classificado na classe positiva - estresse previsto - ser realmente positiva), Valor Preditivo Negativo (probabilidade de um valor classificado na classe negativa - não estresse previsto - ser realmente negativo), Taxa de Verdadeiro Positivo (ou Sensibilidade, proporção de valores positivos corretamente identificados) e Taxa de Verdadeiro Negativo (ou Especificidade, proporção de valores negativos corretamente identificados). Estes parâmetros, relativos ao caso estudado, estão destacados na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros de desempenho obtidos por meio da aplicação da técnica de Florestas Aleatórias para identificação das variáveis mais importantes dentre aquelas selecionadas nos vídeos

		Referência			
		N =156	Não estresse (0)	Estresse (1)	Acurácia $\frac{42+60}{156} = 65,4\%$
Predito	Não estresse previsto (0)		Verdadeiro Negativo 42	Falso Negativo 24	Valor Preditivo Negativo (NPV) $\frac{42}{42+24} = 63,6\%$
	Estresse previsto (1)		Falso Positivo 30	Verdadeiro Positivo 60	Taxa de Falsa Descoberta (FDR) $\frac{30}{30+60} = 33,3\%$
			Taxa de Verdadeiro Negativo (NPR) ou Especificidade $\frac{42}{42+30} = 58,3\%$	Taxa de Falso Negativo (FNR) $\frac{24}{24+60} = 28,6\%$	Taxa de Falsa Omissão (FOR) $\frac{24}{42+24} = 36,7\%$
			Taxa de Falso Positivo (FPR) $\frac{30}{42+30} = 41,7\%$	Taxa de Verdadeiro Positivo (PNR) ou Sensibilidade $\frac{60}{24+60} = 71,4\%$	Valor Preditivo Positivo (PPV) ou Precisão $\frac{60}{30+60} = 66,7\%$

Fonte: Autor.

A Figura 6 apresenta o gráfico, com o valor de *Gini*, medida de impureza que aumenta quanto mais influente o fator é para a ocorrência de estresse, e a porcentagem de importância de cada variável independente para o modelo.

Figura 6 - Importância das variáveis independentes para o estresse na aplicação da técnica de Florestas Aleatórias para identificação das variáveis mais importantes dentre aquelas selecionadas nos vídeos

Fonte: Autor.

A partir dos resultados e da importância das variáveis apresentadas na Figura 6, quatro variáveis foram selecionadas para a próxima etapa do método, sendo elas as de maior importância para o modelo: Aclive, Declive, Obstáculos e Rotatória. Estas variáveis foram escolhidas pois somadas representam 53,61% da importância para o modelo, enquanto que a soma de todas as outras 15 variáveis responde pelos 46,39% restantes.

4.3 Incorporação dos fatores ao LTS

As variáveis mais importantes encontradas com a técnica de Florestas Aleatórias foram incorporadas à classificação LTS com o objetivo de verificar se tal procedimento faria com que a escala se aproxime mais do IPS e, conseqüentemente, do estresse efetivamente sentido pelos ciclistas. Para a modificação no LTS, foram considerados os seguintes critérios:

- Aclive: caso o segmento tenha um aclive de pelo menos 3%, aumenta-se em duas faixas a classificação LTS, respeitando o limite máximo da faixa 4. Tal valor foi baseado nos valores sugeridos no *Cycle Highway Manual* (CHIPS, 2021) e no *Manual for the Design of Cyclepaths in Catalonia* (MEDIN; HERNÁNDEZ, 2008). Além disso, na análise dos vídeos foi possível perceber que, em vias com aclive a partir de 3%, os ciclistas demonstraram dificuldades, como por exemplo maior esforço para pedalar e, até mesmo, necessidade de descer da bicicleta para passar pelo trecho;
- Declive: Semelhante ao critério para aclive, no entanto aumenta-se em apenas uma faixa a classificação LTS caso o declive seja igual ou maior a 3%;
- Obstáculos: Os vídeos foram analisados anotando a presença (ou ausência) de obstáculos nas faixas da direita, da esquerda ou em ambas. Quando pelo menos em metade dos vídeos o segmento apresentava obstáculos em pelo menos um dos lados, a classificação LTS foi aumentada em uma faixa;
- Rotatória: Os segmentos onde havia uma rotatória tiveram sua classificação LTS aumentada em uma faixa.

Os testes de correlação de *Spearman* e de concordância *Kappa* foram então aplicados para avaliar a concordância entre a escala IPS e o LTS alterado, considerando os cenários de inclusão de um fator por vez, de dois em dois, três e três e os quatro fatores juntos. Os resultados se encontram na Tabela 7, que contém ainda as classes de concordância propostas por Landis e Koch (1977) para valores de *Kappa*.

Tabela 7 - Testes estatísticos para os cenários de reclassificação do LTS dos segmentos

Cenários	Testes	
	<i>Spearman</i>	<i>Kappa</i>
Apenas Aclive	$\rho = 0,2562$; $p\text{-valor} = 0,0641$ Rejeita a correlação	$\kappa = 0,1970$ Concordância fraca
Apenas Declive	$\rho = -0,1287$; $p\text{-valor} = 0,3584$ Rejeita a correlação	$\kappa = -0,0263$ Concordância insignificante
Apenas Obstáculos	$\rho = -0,1138$; $p\text{-valor} = 0,4170$ Rejeita a correlação	$\kappa = -0,0816$ Concordância insignificante
Apenas Rotatória	$\rho = -0,0364$; $p\text{-valor} = 0,7956$ Rejeita a correlação	$\kappa = 0,0423$ Concordância fraca
Aclive e Declive	$\rho = 0,2167$; $p\text{-valor} = 0,1190$ Rejeita a correlação	$\kappa = 0,1563$ Concordância fraca
Aclive e Obstáculos	$\rho = 0,2375$; $p\text{-valor} = 0,0868$ Rejeita a correlação	$\kappa = -0,1103$ Concordância fraca
Aclive e Rotatória	$\rho = 0,2791$; $p\text{-valor} = 0,0430$ Não rejeita a correlação	$\kappa = 0,2033$ Concordância razoável
Declive e Obstáculos	$\rho = -0,1308$; $p\text{-valor} = 0,3504$ Rejeita a correlação	$\kappa = -0,1136$ Concordância insignificante
Declive e Rotatória	$\rho = -0,0638$; $p\text{-valor} = 0,6497$ Rejeita a correlação	$\kappa = 0,0034$ Concordância fraca
Obstáculos e Rotatória	$\rho = -0,0327$; $p\text{-valor} = 0,8163$ Rejeita a correlação	$\kappa = -0,0473$ Concordância insignificante
Aclive, Declive e Obstáculos	$\rho = 0,2112$; $p\text{-valor} = 0,1289$ Rejeita a correlação	$\kappa = 0,0761$ Concordância fraca
Aclive, Declive e Rotatória	$\rho = 0,2420$; $p\text{-valor} = 0,0808$ Rejeita a correlação	$\kappa = 0,1630$ Concordância fraca
Aclive, Obstáculos e Rotatória	$\rho = 0,2687$; $p\text{-valor} = 0,0517$ Rejeita a correlação	$\kappa = 0,1181$ Concordância fraca
Declive, Obstáculos e Rotatória	$\rho = -0,0506$; $p\text{-valor} = 0,7186$ Rejeita a correlação	$\kappa = -0,0791$ Concordância insignificante
Todos os fatores	$\rho = 0,2433$; $p\text{-valor} = 0,0792$ Rejeita a correlação	$\kappa = 0,0841$ Concordância fraca

Fonte: Autor.

Na Tabela 7 é possível perceber que, para o cenário onde foram considerados os fatores “Aclive e Rotatória”, há evidência de uma correlação estatisticamente significativa com uma

concordância moderada, indicando que a inclusão destes dois fatores na classificação LTS foi suficiente para aproximá-la da percepção real de estresse dos ciclistas.

A Figura 7 apresenta a nova classificação LTS da rota considerando a inclusão das variáveis *Active* e *Rotatória*.

Figura 7 - Classificação LTS dos segmentos após a inclusão das variáveis identificadas como relevantes (*Active* e *Rotatória*), o que deve levar a um aumento da correlação entre o LTS e o IPS

Fonte: Autor.

Por fim, vale destacar que uma das principais vantagens em utilizar o método LTS é que, com ele, além dos segmentos, é possível analisar isoladamente as interseções. Neste trabalho, no entanto, foi desconsiderada a análise das interseções isoladamente, e apenas consideradas como partes dos segmentos. Isto ocorreu porque uma análise preliminar dos dados nestes locais não mostrou resultados muito promissores, visto que as diferenças entre o estresse fisiológico e a classificação LTS eram muito significativas e a busca por fatores que poderiam explicar tal divergência era muito complexa, já que não é tarefa simples perceber quais elementos estão interagindo com os ciclistas nas interseções. Além disso, de acordo com Fitch, Sharpnack e Handy (2020), usar dados fisiológicos para mensurar estresse nestes locais pode não ser uma estratégia muito adequada pois tais medidas podem ser amplamente influenciadas pelas manobras de aceleração e desaceleração que comumente ocorrem nas interseções e são por si só causadoras de desconforto. Assim, avaliar se o LTS está em conformidade com o sentimento dos ciclistas nas interseções e buscar quais variáveis podem explicar eventuais divergência, seria um processo que possui um grau de complexidade bem maior do que realizar tais procedimentos nos segmentos viários.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Uma das escalas mais utilizadas para classificar conforto de ciclistas, o LTS, desenvolvido por Mekuria, Furth e Nixon (2012) leva em conta níveis de estresse aceitáveis para diferentes classes de usuários do sistema ciclovitário baseando-se em características do tráfego e da própria via. No entanto, esta escala utiliza, como parâmetros, definições legais e estudos prévios que estabeleceram indicadores de conforto e não medidas representativas de ciclistas enquanto realizam suas viagens. Por isto, com o intuito de atingir o objetivo principal de avaliar a aplicabilidade do LTS, em sua forma original ou aprimorada, a uma cidade média brasileira, o presente estudo se dedicou a comparar a classificação LTS com o estresse fisiológico, que para facilitar a comparação foi transformada em uma escala (Índice de Stress Fisiológico, em inglês *Index of Physiological Stress* - IPS) com quatro faixas, criada a partir da condutividade elétrica e temperatura da pele, medidos em quinze ciclistas enquanto pedalavam por uma rota predefinida em São Carlos, município de médio porte no interior do estado de São Paulo.

Esta constitui a primeira questão de pesquisa (Q1) formulada no presente estudo, que tentou responder ainda outras duas questões. Assim, após encontrar diferenças entre estas classificações, se buscou analisar se é possível identificar quais foram os principais potenciais causadores de estresse aos ciclistas, utilizando, para tanto, registros em vídeos de suas viagens (Q2). Por fim, após encontrados os potenciais estressores, estes foram incorporados ao LTS buscando avaliar se era possível melhorar a associação entre este e o estresse fisiológico (Q3). Os resultados obtidos mostram que a escala criada com os dados fisiológicos apresentou concordância insignificante com o LTS (Q1), o que pode indicar que, para os dados utilizado nesta pesquisa, o *Level of Traffic Stress* não leva em conta todos os fatores que causaram estresse para os ciclistas.

Na tentativa de se analisar se é possível reclassificar o LTS para melhorar sua correlação com a medida fisiológica de estresse, vídeos gravados durante as viagens foram analisados em busca dos fatores que interferem no estresse. Com auxílio da técnica de Florestas Aleatórias foi possível identificar quatro variáveis que estavam mais fortemente ligadas com o estresse: *Aclive, Declive, Obstáculos na via e Rotatória* (Q2).

Estas quatro variáveis foram então incorporadas ao LTS buscando melhorar sua correlação com o IPS. Os resultados obtidos mostraram que o único cenário onde houve

concordância estatisticamente significativa entre as escalas foi aquele em que as variáveis *Aclive* e *Rotatória* foram adicionadas. Este resultado indica que, com a inserção destes dois indicadores, que podem ser levantados facilmente em campo, foi possível melhorar a classificação LTS para os segmentos, aproximando-a da percepção de estresse dos ciclistas para o caso estudado (Q3).

Uma importante característica do método aqui utilizado é que, tal como na classificação LTS original, os dados necessários para a reclassificação estão disponíveis, haja visto que basta a observação das vias (para identificar se há obstáculos e/ou presença de rotatória no trecho analisado) ou uso de *software* facilmente acessíveis e aplicáveis (neste caso, o *Google Earth* para obtenção da declividade das vias) para obtê-los. Este é um importante diferencial do método proposto neste trabalho, pois permite utilizar a classificação em casos em que indicadores mais difíceis, e em geral também mais caros de se coletar, não estão disponíveis.

Vale ressaltar que em cidades de países em desenvolvimento, como é o caso aqui analisado, dados como o volume de tráfego, utilizado nas adaptações de Furth (2017) e Bearn, Mingus e Watkins (2018), e estudos mais completos da escolha modal dos usuários do sistema viário, utilizado por Wang *et al.* (2016), raramente estão disponíveis. Este fato se acentua ainda mais no caso de cidades de médio e pequeno porte, onde os investimentos em estudos de tráfego são mais escassos e por isso há bem menos informações disponíveis do que em grandes metrópoles de países ricos, que são em geral as cidades mais consideradas no desenvolvimento de estudos voltados ao modo ciclovitário.

Além disso, a maioria dos trabalhos que propuseram adaptações ao LTS utilizam fatores que foram considerados com base, principalmente na subjetividade e percepções dos autores ou nos dados que estavam disponíveis nas cidades consideradas no estudo. Estas abordagens em geral simplificaram a aplicação da técnica para as regiões estudadas, em alguns casos até permitindo a utilização do LTS em cidades onde, com os dados necessários na versão original, não seria possível. No entanto, estas abordagens não resolveram um dos principais problemas do LTS, que é a falta de validação dos fatores considerados na classificação com dados coletados na prática. Já com a abordagem utilizada no presente trabalho, foi possível propor uma adaptação ao LTS que, ao mesmo tempo, utiliza apenas fatores facilmente coletáveis na maioria das cidades e que foram validados a partir do estresse fisiológico dos ciclistas e da aplicação de técnicas estatísticas.

No entanto, apesar de diminuir a subjetividade, a metodologia aqui utilizada não a excluiu por completo, visto que a análise dos vídeos em busca de fatores potencialmente relacionados ao estresse ainda dependeu de um processo subjetivo de avaliação. Para diminuir tal limitação, futuros trabalhos podem adicionar um passo a metodologia, em que um grupo amplo de pessoas sejam convidadas a avaliar os vídeos e opinar sobre quais são os possíveis elementos e infraestruturas do sistema viário que, em suas percepções, estão influenciando o estresse dos ciclistas.

Uma outra limitação do presente trabalho é que os dados analisados foram obtidos em uma cidade brasileira de médio porte. Assim, resultados em cidades com características distintas, tanto socioeconômicas quanto demográficas, podem ser diferentes dos aqui obtidos, sendo interessante validar a metodologia em outros contextos.

Por fim, uma das vantagens do uso da metodologia LTS para classificar as vias é que o resultado de sua aplicação permite identificar para quais perfis de ciclistas cada via é aconselhável. No entanto, neste trabalho não foi feito um agrupamento dos participantes com foco em validar as classes propostas pelo LTS. É interessante, portanto, que futuras pesquisas levem em conta o perfil dos ciclistas para criar uma escala que seja mais precisa em avaliar as sensações de diferentes grupos com distintas características e níveis de experiência pilotando uma bicicleta.

REFERÊNCIAS

- BEARN, C.; MINGUS, C.; WATKINS, K. An adaption of the level of traffic stress based on evidence from the literature and widely available data. **Research in Transportation Business and Management**, v. 29, p. 50-62, 2018.
- BERGER, M.; DÖRRZAPF, L. Sensing comfort in bicycling in addition to travel data. **Transportation Research Procedia**, v. 32, p. 524-534, 2018.
- BERGNER, B. Methodische und praktische Fundierung zur Etablierung des EmBaGIS--Emotionales Barriere-GIS als neues Instrument zur Identifikation und Optimierung stadträumlicher Barrieren für mobilitätseingeschränkte und behinderte Menschen--Am Anwendungsbeispiel der Fußgängerzone in Kaiserslautern. **TU Kaiserslautern**, 2010.
- BERGNER, B. S. EXNER, J.P.; MEMMEL, M.; RASLAN, R.; TALAL, M.; TAHA, D.; ZEILE, P. Human sensory assessment linked with geo-and mobile-data processing methods in urban planning exemplified on different cultures in Germany and Egypt. In: Proceedings of CUPUM 2013, **Anais...**2013.
- BEYEL, S. et al. Stresstest städtischer Infrastrukturen--ein Experiment zur Wahrnehmung des Alters im öffentlichen Raum. In: REAL CORP 2016, **Anais...**2016.
- BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.
- CAVIEDES, A.; FIGLIOZZI, M. Modeling the impact of traffic conditions and bicycle facilities on cyclists' on-road stress levels. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 58, p. 488-499, 2018.
- CHIPS - Cycle Highways Innovation for smarter People transport and Spatial Planning. **Cycle Highway Manual**. Disponível em: <<https://cyclehighways.eu/>>. Acesso em: 8 abr. 2021.
- COBB, D. P.; JASHAMI, H.; HURWITZ, D. S. Bicyclists' behavioral and physiological responses to varying roadway conditions and bicycle infrastructure. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 80, p. 172-188, 2021.
- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, 1960.
- CONWAY, M. Better measures of bike accessibility. **Conveyal**, 2015. Disponível em: <<https://blog.conveyal.com/better-measures-of-bike-accessibility-d875ae5ed831>>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- FERENCHAK, N. N.; MARSHALL, W. E. Validation of Bicycle Level of Traffic Stress and perceived safety for children. **Transportation Research Record**, v. 2674, n. 4, p. 397-406, 2020.
- FITCH, D. T.; SHARPNACK, J.; HANDY, S. L. Psychological stress of bicycling with traffic: examining heart rate variability of bicyclists in natural urban environments. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 70, p. 81-97, 2020.
- FREITAS, H. M.; NUÑEZ, J. Y. M.; TEIXEIRA, I. P.; RODRIGUES DA SILVA, A. N.; BITTAR, M. S.; MANZATO, G. G.; ZEILE, P. Validação de um instrumento para caracterizar níveis de estresse em rotas cicláveis de uma cidade média brasileira. In: Anais do 8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano Regional, Integradado e Sustentável, **Anais...**2018.

- FURTH, P. G. **Level of Traffic Stress criteria for road segments version 2.0**, 2017.
Disponível em: <<http://www.northeastern.edu/peter.furth/criteria-for-level-of-traffic-stress/>>.
Acesso em: 14 jun. 2020.
- GHATASHEH, N. Business Analytics using Random Forest Trees for credit risk prediction: A comparison study. **International Journal of Advanced Science and Technology**, v. 72, p. 19-30, 2014.
- GLASGOW, T. E.; LE, H. T.K.; SCOTT GELLER, E.; FAN, Y.; HANKEY, S. How transport modes, the built and natural environments, and activities influence mood: A GPS smartphone app study. **Journal of Environmental Psychology**, v. 66, 2019.
- HALE, T. M.; DOORLEY, R.; O'BYRNE, M. RITTGERS, G.; PAKRASHI, V.; GHOSH, B. How do passing events influence the perception of risk among cyclists. In: 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, **Anais...**2019.
- HUERTAS, J. A.; PALACIO, A.; BOTERO, M.; CARVAJAL, G. A.; VAN LAAKE, T.; HIGUERA-MENDIETA, D.; CABRALES, S. A.; GUZMAN, L. A.; SARMIENTO, O. L.; MEDAGLIA, A. L. Level of traffic stress-based classification: A clustering approach for Bogotá, Colombia. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 85, 2020.
- KYRIAKOU, K.; RESCH, B.; SAGL, G.; PETUTSCHNIG, A.; WERNER, C.; NIEDERSEER, D.; LIEDLGRUBER, M.; WILHELM, F.; OSBORNE, T.; PYKETT, J. Detecting moments of stress from measurements of wearable physiological sensors. **Sensors**, v. 19, 2019.
- LAJEUNESSE, S.; RODRÍGUEZ, D. A. Mindfulness, time affluence, and journey-based affect: Exploring relationships. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 15, n. 2, p. 196-205, 2012.
- LANCÉE, S.; VEENHOVEN, R.; BURGER, M. Mood during commute in the Netherlands: What way of travel feels best for what kind of people? **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 104, p. 195-208, 2017.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.
- LIU, F.; FIGLIOZZI, M. Utilizing egocentric video and sensors to conduct naturalistic bicycling studies Transportation Research and Education Center. **Transportation Research and Education Center**, Report No. NITC-RR-805, 2016.
- LOWRY, M. B.; FURTH, P.; HADDEN-LOH, T. Prioritizing new bicycle facilities to improve low-stress network connectivity. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 86, p. 124-140, 2016.
- MEDIN, L.; HERNÁNDEZ, S. Manual for the design of cyclepaths in Catalonia. Department de Política territorial i Obres Públiques, Generalitat de Catalunya, 2008.
- MEKURIA, M. C.; FURTH, P. G.; NIXON, H. Loss-Stress Bicycling and Network Connectivity Mineta Transportation Institute Report. Mineta Transportation Institute Report, Report No. CA-MTI-12-1005, 2012.

NAVEA, R. F.; BUENVENIDA, P. J.; CRUZ, C. D. Stress detection using Galvanic Skin Response: An Android application. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1372, n. 012001.

NUÑEZ, J. Y. M.; TEIXEIRA, I. P.; RODRIGUES DA SILVA, A. N.; ZEILE, P.; DEKONINCK, L.; BOTTELDOOREN, D. The influence of noise, vibration, cycle paths, and period of day on stress experienced by cyclists. **Sustainability**, v. 10, n. 2379, 2018.

PAPASTEFANOU, G. Ambulatorisches assessment und empirische sozialforschung. **Sozialwissenschaftlicher Fachinformationsdienst soFid**, p. 11-20, 2008.

PROVIDELO, J. K. **Nível de Serviço para Bicicletas: Um Estudo de caso nas cidades de São Carlos e Rio Claro**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

RYBARCZYK, G.; OZBIL, A.; ANDRESEN, E.; HAYES, Z. Physiological responses to urban design during bicycling: A naturalistic investigation. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 68, p. 79-93, 2020.

SHAIKHINA, T.; LOWE, D.; DAGA, S.; BRIGGS, D.; HIGGINS, R.; KHOVANOVA, N. Decision tree and random forest models for outcome prediction in antibody incompatible kidney transplantation. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 52, 2019.

SORTON, A.; WALSH, T. Bicycle Stress Level as a tool to evaluate urban and suburban bicycle compatibility. **Transportation Research Record**, v. 1438, p. 17-24, 1994.

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. **The American Journal of Psychology**, v. 15, n. 1, 1904.

TEIXEIRA, I. P.; RODRIGUES DA SILVA, A. N.; SCHWANEN, T.; MANZATO, G. G.; DÖRRZAPF, L.; ZEILE, P.; DEKONINCK, L.; BOTTELDOOREN, D. Does cycling infrastructure reduce stress biomarkers in commuting cyclists? A comparison of five European cities. **Journal of Transport Geography**, v. 88, p. 102830, 2020.

TUCKER, B.; MANAUGH, K. Bicycle equity in Brazil: Access to safe cycling routes across neighborhoods in Rio de Janeiro and Curitiba. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 12, n. 1, p. 29-38, 2018.

VIEIRA, P.; COSTEIRA, J. P.; BRANDAO, S.; MARQUES, M. SMARTcycling: Assessing cyclists' driving experience. In: 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, **Anais...2016**.

WANG, H.; PALM, M.; CHEN, C.; VOGT, R.; WANG, Y. Does bicycle network level of traffic stress (LTS) explain bicycle travel behavior? Mixed results from an Oregon case study. **Journal of Transport Geography**, v. 57, p. 8-18, 2016.

YANG, X.; MCCOY, E.; ANAYA-BOIG, E.; AVILA-PALENCIA, I.; BRAND, C.; CARRASCO-TURIGAS, G.; DONS, E.; GERIKE, R.; GOETSCHI, T.; NIEUWENHUIJSEN, M.; ORJUELA, J. P.; PANIS, L. I.; STANDAERT, A.; NAZELLE, A. The effects of traveling in different transport modes on galvanic skin response (GSR) as a measure of stress: An observational study. **Environment International**, v. 156, 2021.

ZEILE, P.; RESCH, B.; LOIDL, M.; PETUTSCHNIG, A.; DÖRRZAPF, L. Urban emotions and cycling experience - enriching traffic planning for cyclists with human sensor data. In: GI_Forum 2016, **Anais...2016**.

ZHU, J.; FAN, Y. Daily travel behavior and emotional well-being: Effects of trip mode, duration, purpose, and companionship. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 118, p. 360-373, 2018.

ZHU, S.; ZHU, F. Cycling comfort evaluation with instrumented probe bicycle. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 129, p. 217-231, 2019.

APÊNDICE A

Resultados dos testes estatísticos aplicados para encontrar os fatores que mais se correlacionaram com o estresse fisiológico

A seguir, são apresentados os resultados da aplicação dos 8 testes estatísticos aplicado neste trabalho. Os cenários em cada teste correspondem a diferentes aplicações do teste, onde alguns parâmetros foram variados em busca de encontrar quais eram as combinações que trariam os melhores resultados.

I - REGRESSÃO LINEAR *STEPWISE*

CENÁRIO 1A

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse como variável Contínua;
- Todos os dados
- Indicador do modelo: $R^2 = 0,285$;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Aclive; Declive; Veículos passando próximos na Interseção; Ambiente Aberto; Obstáculos na via; Rotatória; Veículos passando próximos; Ambiente Confinado;
- ANOVA:

	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Regressão	1,100	8,000	0,138	40,062	,000
Resíduo	2,667	777,000	0,003		
Total	3,767	785,000			

- Coeficientes do modelo:

	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
Aclive	0,693	0,085	0,277	8,159	0,000
Declive	-0,558	0,094	-0,196	-5,949	0,000
ProxVeic_Int	0,022	0,006	0,115	3,539	0,000
AmbAberto	0,022	0,005	0,132	4,318	0,000
Obstac	0,007	0,002	0,097	2,932	0,003
Rotatoria	0,031	0,009	0,109	3,512	0,000
Prox_Veic	0,011	0,005	0,073	2,119	0,034
AmbConfinado	0,019	0,010	0,063	2,021	0,044

CENÁRIO I.B

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse como variável Contínua;
- Apenas dados dos participantes do gênero masculino
- Indicador do modelo: $R^2 = 0,627$;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Declive; Aclive; Ambiente Aberto; Obstáculos na via; Veículos passando próximos na Interseção; Rotatória; Ambiente Confinado; Necessidade de mudar lado da via; Pavimento; Conflito com mobiliário urbano; Veículos passando próximos; Velocidade alta dos veículos motorizados;
- ANOVA:

	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Regressão	1126,359	12	93,863	67,917	,000
Resíduo	642,641	465	1,382		
Total	1769,000	477			

- Coeficientes do modelo:

	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados		Sig.
	B	Erro	Beta	t	
Declive	-23,388	2,517	-,295	-9,293	,000
Aclive	15,161	2,491	,219	6,087	,000
AmbAberto	1,033	,159	,225	6,511	,000
Obstac	0,382	,061	,196	6,263	,000
ProxVeic_Int	0,709	,154	,139	4,608	,000
Rotatoria	1,061	,234	,131	4,535	,000
AmbConfinado	0,713	,258	,083	2,768	,006
MudancaLado	0,524	,166	,097	3,161	,002
Pavimento	0,426	,126	,114	3,379	,001
MobiliarioUrbano	1,179	,395	,084	2,982	,003
Prox_Veic	0,349	,152	,077	2,293	,022
VelocAlta	0,455	,218	,071	2,087	,037

CENÁRIO I.C

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse como variável Contínua;
- Apenas dados dos participantes do gênero feminino
- Indicador do modelo: $R^2 = 0,715$;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Declive; Aclive; Ambiente Aberto; Obstáculos na via; Rotatória; Ambiente Confinado; Necessidade de mudar lado da via; Conflito com mobiliário urbano; Veículos passando próximos na Interseção; Iluminação pública ruim, Veículos passando próximos;
- ANOVA:

	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Regressão	567,111	11	51,556	71,255	,000
Resíduo	214,889	297	,724		
Total	782,000	308			

- Coeficientes do modelo:

	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados		
	B	Erro	Beta	t	Sig.
Declive	-20,791	2,286	-,319	-9,095	,000
Aclive	17,284	1,985	,299	8,707	,000
AmbAberto	1,181	,115	,322	10,252	,000
Obstac	,376	,051	,244	7,353	,000
Rotatoria	,911	,206	,138	4,417	,000
AmbConfinado	,858	,218	,123	3,944	,000
MudancaLado	,437	,182	,077	2,404	,017
MobiliarioUrbano	1,067	,351	,093	3,043	,003
ProxVeic_Int	,486	,168	,098	2,889	,004
Iluminacao	1,011	,356	,089	2,842	,005
Prox_Veic	,306	,115	,090	2,660	,008

Observação: Os cenários B e C foram testados afim de encontrar se as variáveis importantes para o modelo seriam diferentes para os gêneros femininos e masculinos. No entanto, como os resultados mostraram que as variáveis foram semelhantes as incluídas no modelo A, se optou por considerar apenas o cenário A, que incluiu todos os dados.

II - REGRESSÃO LOGÍSTICA

CENÁRIO II.A

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão *Forward* sem intercepto
- Estresse em variável *dummy*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 56,8%;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Aclive; Rotatória; Veículos passando próximos no cruzamento; Ciclofaixa; Dificuldades no cruzamento;
- Coeficientes do modelo:

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
							Limite Inferior	Limite Superior
Aclive	12,849	2,989	18,484	1	,000	380415,215	1087,331	133092615,607
Rotatoria	-1,484	,358	17,185	1	,000	,227	,112	,457
ProxVeic_Int	,616	,217	8,078	1	,004	1,851	1,211	2,831
Ciclofaixa	2,474	1,036	5,704	1	,017	11,867	1,558	90,370
DificuldadeCruz	1,260	,646	3,802	1	,051	3,527	,994	12,519

CENÁRIO II.B

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão *Backward* sem intercepto
- Estresse em variável *dummy*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 63,1%;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Aclive; Rotatória; Veículos passando próximos no cruzamento; Veículos passando próximos; Obstáculos na via; Ciclovia; Ciclofaixa; Dificuldades no cruzamento;
- Coeficientes do modelo:

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
							Limite Inferior	Limite Superior
Aclive	16,240	3,594	20,422	1	,000	11300596,065	9865,243	12944786816,540
Rotatoria(1)	-1,234	,372	11,008	1	,001	,291	,140	,604
ProxVeic_Int(1)	,748	,231	10,460	1	,001	2,113	1,343	3,326
Prox_Veic(1)	,405	,193	4,381	1	,036	1,499	1,026	2,190
Obstac			9,756	3	,021			
Obstac(1)	-,413	,136	9,286	1	,002	,662	,507	,863
Obstac(2)	-,156	,189	,682	1	,409	,856	,591	1,239
Obstac(3)	-,228	,191	1,427	1	,232	,796	,548	1,157
Ciclovia(1)	,867	,293	8,742	1	,003	2,379	1,339	4,225
Ciclofaixa(1)	2,843	1,042	7,439	1	,006	17,169	2,226	132,437
DificuldadeCruz(1)	1,455	,655	4,936	1	,026	4,286	1,187	15,476

CENÁRIO II.C

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão Não *Stepwise* sem intercepto
- Estresse em variável *dummy*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 53,9%;
- Variáveis consideradas significativas, para $\alpha = 5\%$:
 - *Acrive*; *Rotatória*; Veículos passando próximos no cruzamento; Veículos passando próximos; *Ciclovía*; *Ciclofaixa*; Dificuldades no cruzamento;
- Coeficientes do modelo:

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
							Limite Inferior	Limite Superior
<i>Acrive</i>	16,014	3,920	16,692	1	,000	9013547,734	4153,861	19558683346,711
<i>Rotatoria</i>	-1,322	,388	11,595	1	,001	,267	,125	,571
<i>ProxVeic_Int</i>	,829	,243	11,620	1	,001	2,291	1,422	3,690
<i>Prox_Veic</i>	,431	,207	4,324	1	,038	1,539	1,025	2,310
<i>Ciclovía</i>	1,740	,562	9,602	1	,002	5,698	1,895	17,127
<i>Ciclofaixa</i>	3,736	1,167	10,246	1	,001	41,915	4,256	412,843
<i>DificuldadeCruz</i>	1,426	,673	4,491	1	,034	4,161	1,113	15,551

CENÁRIO II.D

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão *Forward* com intercepto
- Estresse em variável *dummy*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 53,9%;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - *Acrive*; *Rotatória*; Veículos passando próximos no cruzamento; Veículos passando próximos; *Ciclovía*; *Ciclofaixa*; Dificuldades no cruzamento;
- Coeficientes do modelo:

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
							Limite Inferior	Limite Superior
<i>Acrive</i>	15,071	3,511	18,426	1	,000	3508740,222	3602,708	3417223623,161
<i>Rotatoria</i>	-1,348	,364	13,745	1	,000	,260	,127	,530
<i>ProxVeic_Int</i>	,800	,233	11,764	1	,001	2,226	1,409	3,517
<i>Prox_Veic</i>	,457	,195	5,489	1	,019	1,579	1,077	2,313
<i>Ciclovía</i>	,740	,282	6,908	1	,009	2,096	1,207	3,640
<i>Ciclofaixa</i>	2,728	1,040	6,884	1	,009	15,296	1,994	117,357
<i>DificuldadeCruz</i>	1,471	,654	5,065	1	,024	4,354	1,209	15,679

CENÁRIO II.E

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão *Backward* com intercepto
- Estresse em variável *dummy*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 53,9%;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Aclive; Rotatória; Veículos passando próximos no cruzamento; Veículos passando próximos; Obstáculos na via; Ciclovias; Ciclofaixa; Dificuldades no cruzamento;
- Coeficientes do modelo:

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
							Limite Inferior	Limite Superior
Aclive	15,071	3,511	18,426	1	,000	3508740,222	3602,708	3417223623,161
Rotatoria	-1,348	,364	13,745	1	,000	,260	,127	,530
ProxVeic_Int	,800	,233	11,764	1	,001	2,226	1,409	3,517
Prox_Veic	,457	,195	5,489	1	,019	1,579	1,077	2,313
Ciclovias	,740	,282	6,908	1	,009	2,096	1,207	3,640
Ciclofaixa	2,728	1,040	6,884	1	,009	15,296	1,994	117,357
DificuldadeCruz	1,471	,654	5,065	1	,024	4,354	1,209	15,679

CENÁRIO II.F

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão Não *Stepwise* com intercepto
- Estresse em variável *dummy*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 53,9%;
- Variáveis consideradas significativas, para $\alpha = 5\%$:
 - Aclive; Rotatória; Veículos passando próximos no cruzamento; Veículos passando próximos; Ciclovias; Ciclofaixa; Dificuldades no cruzamento;
- Coeficientes do modelo:

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
							Limite Inferior	Limite Superior
Aclive	15,668	3,995	15,385	1	,000	6374747,682	2537,053	16017564533,383
Rotatoria	-1,327	,388	11,679	1	,001	,265	,124	,568
ProxVeic_Int	,818	,245	11,185	1	,001	2,267	1,403	3,661
Prox_Veic	,418	,209	3,988	1	,046	1,519	1,008	2,290
Ciclovias	1,735	,562	9,550	1	,002	5,672	1,887	17,050
Ciclofaixa	3,732	1,167	10,222	1	,001	41,762	4,238	411,500
DificuldadeCruz	1,418	,674	4,426	1	,035	4,127	1,102	15,463

III - REGRESSÃO ORDINAL

CENÁRIO III.A

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão Ordinal
- Estresse em 3 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Pseudo $R^2 = 0,048$;
- Variáveis consideradas significativas, para $\alpha = 5\%$:
 - Aclive; Ambiente Aberto; Ciclovia;
- Coeficientes do modelo:

	Estimativa	Erro	Wald	df	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
						Limite Inferior	Limite Superior
Estresse = 1	-1,180	1,715	,474	1	,491	-4,540	2,181
Estresse = 2	1,046	1,716	,372	1	,542	-2,316	4,409
Aclive	10,095	3,478	8,424	1	,004	3,278	16,912
AmbAberto = 0	1,113	,480	5,380	1	,020	,173	2,054
Ciclovia = 0	-1,068	,536	3,975	1	,046	-2,118	-,018

CENÁRIO III.B

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão Ordinal
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Pseudo $R^2 = 0,055$;
- Variáveis consideradas significativas, para $\alpha = 5\%$:
 - Aclive; Rotatória;
- Coeficientes do modelo:

	Estimativa	Erro	Wald	df	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
						Limite Inferior	Limite Superior
Estresse = 1	-1,553	1,651	,885	1	,347	-4,789	1,683
Estresse = 2	,258	1,650	,024	1	,876	-2,977	3,492
Estresse = 3	2,160	1,663	1,686	1	,194	-1,100	5,420
Aclive	12,550	3,403	13,603	1	,000	5,881	19,219
Rotatoria = 0	,752	,353	4,548	1	,033	,061	1,443

CENÁRIO III.C

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão Ordinal
- Estresse em 6 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Pseudo $R^2 = 0,048$;
- Variáveis consideradas significativas, para $\alpha = 5\%$:
 - Aclive; Ambiente Aberto; Ciclofaixa;
- Coeficientes do modelo:

	Estimativa	Erro	Wald	df	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
						Limite Inferior	Limite Superior
Estresse = 1	-1,193	1,716	,483	1	,487	-4,557	2,170
Estresse = 2	1,015	1,717	,349	1	,554	-2,351	4,381
Estresse = 3	2,503	1,731	2,090	1	,148	-,890	5,896
Estresse = 4	4,127	1,807	5,219	1	,022	,586	7,669
Estresse = 5	4,534	1,852	5,991	1	,014	,903	8,164
Aclive	10,153	3,481	8,505	1	,004	3,330	16,977
Ambiente Aberto = 0	1,101	,481	5,241	1	,022	,158	2,044
Ciclofaixa = 0	-1,547	,732	4,466	1	,035	-2,983	-,112

IV - REGRESSÃO NOMINAL

CENÁRIO IV.A

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão Nominal *Stepwise*
- Estresse em 3 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 58,1%;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Rotatória; Aclive; Ambiente Aberto;
- Coeficientes do modelo:

		B	Erro	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
								Limite Inferior	Limite Superior
Estresse = 1	Intercepto	2,855	,708	16,280	1	,000			
	Rotatória = 0	,589	,393	2,238	1	,135	1,801	,833	3,894
	AmbAberto = 0	-1,364	,612	4,965	1	,026	,256	,077	,849
	Aclive	-11,299	5,196	4,728	1	,030	1,238e-5	4,673e-10	,328
Estresse = 2	Intercepto	-1,012	1,217	,691	1	,406			
	Rotatória = 0	3,813	1,061	12,916	1	,000	45,268	5,660	362,080
	AmbAberto = 0	-1,241	,621	3,988	1	,046	,289	,086	,977
	Aclive	-1,996	5,204	,147	1	,701	,136	5,047e-6	3656,719

CENÁRIO IV.B

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão Nominal *Stepwise*
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 54,6%;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
- Rotatória; Aclive; Necessidade de mudar lado da via; Ambiente Aberto; Veículos passando próximos no cruzamento;
- Coeficientes do modelo:

		B	Erro	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
								Limite Inferior	Limite Superior
Estresse = 1	Intercepto	2,000	1,586	1,589	1	,207			
	Rotatoria=0	1,274	,645	3,904	1	,048	3,575	1,010	12,654
	ProxVeic_Int=0	,089	,782	,013	1	,910	1,093	,236	5,064
	AmbAberto=0	-1,183	1,058	1,249	1	,264	,307	,039	2,439
	MudancaLado=0	1,311	,588	4,964	1	,026	3,708	1,171	11,745
	Aclive	-3,146	10,386	,092	1	,762	,043	6,210E-11	29778304,071
Estresse = 2	Intercepto	-15,281	1,366	125,174	1	,000			
	Rotatoria=0	18,404	,000	.	1	.	98321002,290	98321002,290	98321002,290
	ProxVeic_Int=0	-,626	,788	,631	1	,427	,535	,114	2,506
	AmbAberto=0	-1,339	1,064	1,583	1	,208	,262	,033	2,110
	MudancaLado=0	1,691	,607	7,768	1	,005	5,423	1,652	17,803
	Aclive	11,202	10,447	1,150	1	,284	73276,634	9,377E-5	57260628434482,070
Estresse = 3	Intercepto	-1,575	1,748	,812	1	,367			
	Rotatoria=0]	1,662	,736	5,101	1	,024	5,272	1,246	22,313
	ProxVeic_Int=0	,021	,839	,001	1	,980	1,021	,197	5,286
	AmbAberto=0	-,126	1,137	,012	1	,912	,882	,095	8,186
	MudancaLado=0	1,931	,697	7,686	1	,006	6,900	1,761	27,031
	Aclive	12,520	10,853	1,331	1	,249	273686,845	,000	473138203478403,300

CENÁRIO IV.C

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Regressão Nominal *Stepwise*
- Estresse em 6 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições corretas = 57,7%;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Rotatória; Veículos passando próximos no cruzamento;
- Coeficientes do modelo:

		B	Erro	Wald	df	Sig.	Exp(B)	Intervalo de Confiança 95%	
								Limite Inferior	Limite Superior
Estresse = 1	Intercepto	,440	1,231	,128	1	,721			
	Rotatoria=0	19,171	2179,673	,000	1	,993	211675368,254	,000	.
	ProxVeic_Int=0	3,039	1,592	3,646	1	,056	20,888	,923	472,862
Estresse = 2	Intercepto	-2,808	1,583	3,145	1	,076			
	Rotatoria=0]	22,230	2179,673	,000	1	,992	4510742509,413	,000	.
	ProxVeic_Int=0	2,745	1,604	2,929	1	,087	15,569	,671	361,239
Estresse = 3	Intercepto	-,951	1,318	,521	1	,470			
	Rotatoria=0	18,386	2179,673	,000	1	,993	96628526,811	,000	.
	ProxVeic_Int=0	2,840	1,633	3,027	1	,082	17,120	,698	419,845
Estresse = 4	Intercepto	-19,317	2778,331	,000	1	,994			
	Rotatoria=0	19,136	2179,673	,000	1	,993	204435339,208	,000	.
	ProxVeic_Int=0	19,317	2778,331	,000	1	,994	245034416,140	,000	.
Estresse = 5	Intercepto	-18,884	2179,673	,000	1	,993			
	34,594	,000	.	1	.	1,057e+15	1,057e+15	1,057e+15	34,594
	ProxVeic_Int=0	-15,359	3617,793	,000	1	,997	2,135E-7	,000	.

V - REGRESSÃO LASSO

CENÁRIO V.A

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em variável contínua;
- Indicador do modelo: Pseudo $R^2 = 0,069$;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Rotatoria; AmbAberto; Pedestres; DificuldadeCruz; Obstac; Ciclovía; Ciclofaixa;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO V.B

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em 6 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Pseudo $R^2 = 0,0244$;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Rotatória; Ciclovía; Obstáculos na via; Veículos passando próximos no cruzamento; Velocidade alta dos veículos motorizados; Dificuldades no cruzamento; Ciclofaixa; Tráfego de moderado a intenso; Iluminação pública ruim; Pedestres na via;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO V.C

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Pseudo $R^2 = 0,0244$;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Ambiente Aberto; Rotatória; Conflito com mobiliário urbano; Dificuldades no cruzamento; Necessidade de mudar lado da via; Velocidade alta dos veículos motorizados; Veículos passando próximos no cruzamento; Veículos passando próximos; Ambiente Confinado;
- Importância das variáveis:

VI - ÁRVORE DE DECISÃO

CENÁRIO VI.A

- *Software* utilizado: *R*
- Estresse em variável contínua;
- Método de construção do modelo: CRT;
- Indicador do modelo: como estresse era variável contínua, o software não retornou a acurácia;
- Número de nós: 11;
- Número de nós terminais: 5;
- Espessura da árvore: 5 níveis;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Declive; Aclive; Veículos passando próximos no cruzamento; Necessidade de mudar lado da via; Obstáculos na via; Ambiente Aberto; Velocidade alta dos veículos motorizados; Faixa de estacionamento demarcada e pouco utilizada; Dificuldades no cruzamento;
- Importância das variáveis:

- Árvore de teste:

CENÁRIO VI.B

- *Software* utilizado: *R*
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Método de construção do modelo: CRT;
- Indicador do modelo: Porcentagem de acerto: 48,8%;
- Número de nós: 23;
- Número de nós terminais: 12;
- Espessura da árvore: 5 níveis;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Aclive; Rotatória; Declive; Veículos passando próximos no cruzamento; Obstáculos na via; Veículos passando próximos; Pavimento ruim; Ambiente Confinado; Velocidade alta dos veículos motorizados; Faixa de estacionamento demarcada e pouco utilizada; Tráfego de moderado a intenso; Ciclofaixa;
- Importância das variáveis:

- Árvore de teste:

CENÁRIO VI.C

- *Software* utilizado: *R*
- Estresse em 6 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Método de construção do modelo: CRT;
- Indicador do modelo: Porcentagem de acerto: 56,9%;
- Número de nós: 15;
- Número de nós terminais: 8;
- Espessura da árvore: 5 níveis;
- Variáveis consideradas significativas em ordem de importância:
 - Aclive; Rotatória; Obstáculos na via; Declive; Veículos passando próximos no cruzamento; Tráfego de moderado a intenso; Ambiente Confinado; Ciclofaixa
- Importância das variáveis:

○ Árvore de teste:

VII - FLORESTAS ALEATÓRIAS

CENÁRIO VII.A

- *Software* utilizado: *R*
- Estresse em variável *dummy*;
- Indicador do modelo: Acurácia = 65,4%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - Active; Declive; Obstáculos na via; Rotatória;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO VII.B

- *Software* utilizado: *R*
- Estresse em 3 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Acurácia = 48,4%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - Active; Declive;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO VII.C

- *Software* utilizado: *R*
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Acurácia = 49,7%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - *Active*; *Declive*;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO VII.D

- *Software* utilizado: *R*
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Indicador do modelo: Acurácia = 51,6%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - *Active*; *Declive*;
- Importância das variáveis:

VIII - REDES NEURAIIS

CENÁRIO VIII.A

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Método de construção do modelo: Perceptron Multicamada;
- Tipo de treinamento do modelo: Minilote;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições incorretas = 54,8%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - Rotatória; Active; Declive; Faixa de estacionamento demarcada e pouco utilizada; Velocidade alta dos veículos motorizados; Ciclovia;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO VIII.B

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Método de construção do modelo: Perceptron Multicamada;
- Tipo de treinamento do modelo: Lote;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições incorretas = 53,7%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - *Acrive*; *Rotatória*; *Declive*; *Pedestres na via*; *Veículos passando próximos no cruzamento*; *Faixa de estacionamento demarcada e pouco utilizada*; *Veículos passando próximos*;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO VIII.C

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em 6 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Método de construção do modelo: Perceptron Multicamada;
- Tipo de treinamento do modelo: Minilote;
- Indicador do modelo: Porcentagem de previsões incorretas = 57,9%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - Rotatória; Aclive; Velocidade alta dos veículos motorizados; Tráfego de moderado a intenso; Ambiente Aberto;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO VIII.D

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em 6 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Método de construção do modelo: Perceptron Multicamada;
- Tipo de treinamento do modelo: Lote;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições incorretas = 57,2%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - Rotatória; Aclive; Declive; Iluminação pública ruim; Pedestres na via;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO VIII.E

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em 4 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Método de construção do modelo: Função de base radial;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições incorretas = 52,2%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - Aclive; Declive; Veículos passando próximos; Obstáculos na via; Veículos passando próximos no cruzamento;
- Importância das variáveis:

CENÁRIO VIII.F

- *Software* utilizado: *SPSS*
- Estresse em 6 faixas, criadas com uso da técnica de *cluster*;
- Método de construção do modelo: Função de base radial;
- Indicador do modelo: Porcentagem de predições incorretas = 59,7%;
- Variáveis que juntas respondem por pelo menos 50% da importância do modelo:
 - Aclive; Declive; Veículos passando próximos; Obstáculos na via; Pavimento ruim; Rotatória;
- Importância das variáveis:

ANEXO A

Procedimento de coleta de dados fisiológicos de estresse

Tradução livre para o português do texto original em inglês que consta como apêndice no artigo de Teixeira *et al.*, 2020

O processo de avaliação dos dados fisiológicos é baseado nos trabalhos de Papastefanou (2008), desenvolvedor da *smartband* utilizada; Bergner (2010), que a utilizou pela primeira vez para pessoas com deficiência e adaptou para uso em pedestres; Zeile *et al.* (2016), para uso em ciclistas; e no trabalho de Beyel *et al.* (2016), que transferiu o processo de avaliação do Matlab para R. Com base neste processo, Kyriakou *et al.* (2019) validou, aprimorou e reformulou o processamento de dados para a detecção de momentos de estresse e também adicionou a análise espaço-temporal no fluxo proposto. Uma visão geral do fluxo de processamento de dados, conforme descrito em um estudo de Beyel *et al.* (2016), é apresentado na Figura A1. Os dados de GPS são obtidos, incluindo informações sobre a posição e o tempo da gravação, a cada segundo. O sensor preso ao pulso do participante mede e armazena dados de condutividade elétrica (scr) e temperatura (temp) da pele.

Figura A1 - Fluxo de processamento de dados brutos de GPS e do sensor em R

Fonte: Teixeira (2020 - adaptado de Beyel *et al.*, 2016).

Depois que os dados são importados com sucesso para um computador, um valor limite, que representa a diferença mínima entre o menor e o maior valor medidos, é usado para verificar

se os conjuntos de dados são adequados para avaliação. Isso ocorre porque a *smartband* também falha em alguns casos, por exemplo, se a pressão de contato dos semicondutores for muito fraca, se uma junta de solda se soltar ou a se umidade for muito alta. Neste caso, a *smartband* fornece valores contínuos para a condutividade elétrica ou temperatura da pele, que são continuamente "1024" ou "0". Essa "diferença mínima" é necessária no fluxo de trabalho como uma etapa para que seja possível descartar a possibilidade de um erro de gravação. Posteriormente, alguns valores são removidos das medições de condutividade elétrica e temperatura da pele. Isso é feito comparando cada valor medido com a média aritmética dos 250 valores medidos mais próximos (os 125 valores anteriores e posteriores do valor a ser testado). Se a diferença for maior do que o valor limite definido anteriormente (condutividade elétrica da pele = 25, temperatura da pele = 15), o valor testado é substituído pelo valor médio. Na sequência, a frequência de 10 *Hertz* - ou seja, dez medições por segundo - é convertida para 1 Hz através do cálculo da média aritmética. A seguir, é determinado o gradiente entre os pontos individuais e obtidos outros valores com uma regressão polinomial local. Este é o “processo de suavização” dos valores medidos por meio de um estimador de densidade de kernel (kernel gaussiano), especificando o grau e a largura da faixa para que aumentos e diminuições nos dados possam ser identificados mais facilmente. Após o processo de suavização, pontuações que descrevem um aumento, diminuição ou manutenção de um valor em comparação com o valor anterior, são atribuídas.

As seguintes regras são usadas para o “sistema de pontuação” (Bergner, 2010, página 184):

- aumento no nível de condutividade elétrica da pele = +1;
- diminuição no nível de condutividade elétrica da pele = -1;
- nível de condutividade elétrica da pele se mantém inalterado = 0;
- aumento da temperatura da pele = -1;
- diminuição da temperatura da pele = +1;
- temperatura da pele da pele se mantém inalterada = 0;

Para a detecção de variações negativas, é necessário apenas saber se o nível de condutividade elétrica da pele está aumentando (a pontuação para este caso é “+1”) e a temperatura da pele deve diminuir (pontuação é “-1”). No final da avaliação, duas colunas com código binário devem ser interpretadas (Figura A2). As pontuações são integradas em uma função de cálculo matricial em R, que identifica o gatilho, o ponto de partida de um evento de

estresse (ou seja, o momento de estresse - MOS). A duração, em segundos, da reação (segundos de estresse - SOS) é identificada como a duração do tempo de estresse. O critério para definir o fim da reação de estresse é quando a condutividade elétrica pontua -1 ou a temperatura da pele pontua $+1$.

Figura A2 - Caso típico de medição fisiológica da condutividade elétrica da pele (azul) e temperatura da pele (vermelho) (lado esquerdo), pontuação e padrão de atraso de 3s da reação de estresse. Momento de estresse é detectado quando a pontuação de temperatura da pele é -1 (para interpretação das referências das cores na legenda da imagem, o leitor deve consultar a versão *web* do artigo de Teixeira *et al.*, 2020)

Fonte: Teixeira *et al.* (2020 - adaptado de Bergner *et al.*, 2013).

Um momento de estresse pode ser identificado quando a temperatura da pele diminui três segundos após um aumento significativo da condutividade elétrica (PAPASTEFANOU, 2008). Além disso, Kyriakou *et al.* (2019, p. 11) apoiaram a abordagem de detecção de um momento de estresse a cada 10 segundos com a seguinte teoria: “apenas um momento de estresse pode ser detectado em um período de tempo de 10 segundos. Essa suposição está relacionada aos valores típicos de latência, tempo de subida e tempo intermediário de recuperação (1-5, 1-5, 1-10, respectivamente). São utilizados os valores médios com o argumento que um evento de estresse tem uma duração média de 10 segundos. Este argumento implica que, se um momento de estresse for detectado no tempo t , não é viável detectar outro no período que vai de t até $t + 10$ ”. No entanto, é possível ter eventos de estresse com duração superior a 10 segundos. Portanto, após ter identificado o gatilho (ou seja, o ponto de início de um evento de estresse), também é possível identificar em quantos dos segundos seguintes os participantes estavam sob estresse. Finalmente, o resultado pode ser categorizado dicotomicamente como “evento estressante” ou “condição normal”.