

---

# AUXÍLIO AO DIAGNÓSTICO DE DOENÇA NEURODEGENERATIVA UTILIZANDO EXPRESSÕES FACIAIS

---

Arissa Yoshida

---

Orientador: João Paulo Papa

Coorientador: Guilherme Camargo de Oliveira

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
Faculdade de Ciências (FC) / Departamento de Computação (DCo)  
Bauru, SP - Brasil

# Sumário da Apresentação

---

1. Introdução
2. Fundamentação Teórica
3. Metodologia
4. Resultados Experimentais
5. Aplicação
6. Conclusão

# Introdução

---

## Doenças Neurodegenerativas (DNs)

Doenças Neurodegenerativas (DNs) são caracterizadas pela **degeneração progressiva dos neurônios** – as células responsáveis pelas funções do sistema nervoso. Fazendo parte de um **grupo de doenças heterogêneas debilitantes** e que até o momento **não possuem cura**, chegando a afetar mais de **30 milhões de indivíduos ao redor do mundo** (MARCHI et al., 2021).

- Doença de Alzheimer
- Doença de Parkinson
- Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA):
  - morte de neurônios motores da medula espinhal;



# Introdução

---

## Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA)

A detecção precoce da ELA é fundamental para **prolongar a expectativa de vida dos pacientes e melhorar sua qualidade de vida**. Embora não haja cura, permite o início imediato de **ensaios terapêuticos e a reabilitação das funções afetadas** pelos sintomas bulbares (HESTERLEE, 2022).

- **Critérios essenciais (El Escorial)**, na prática, os métodos de diagnóstico acabam sendo **subjetivos e imprecisos**.
- **Atrasos no diagnóstico**: pacientes com ELA costumam ser diagnosticados em **média 14 meses** após o surgimento dos primeiros sintomas. **Sobrevida média de 3 a 5 anos após o diagnóstico**.
- **Erros no diagnóstico**:
  - **Falso Positivo**: Os pacientes são informados de que têm ELA, mas, descobre-se que outra doença ou condição é o verdadeiro problema.
  - **Falso Negativo**: Os pacientes são inicialmente informados de que têm outra doença e depois descobrem que têm ELA.

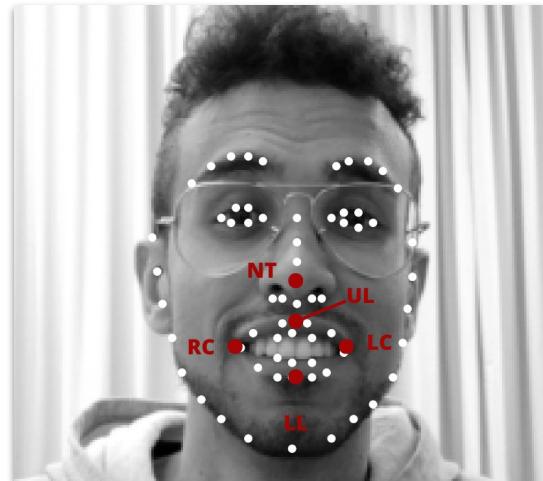
# Introdução

---

## Detecção Automática de ELA:

A. Bandini, J. R. Green, B. Taati, S. Orlandi, L. Zinman and Y. Yunusova, "Automatic Detection of Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) from Video-Based Analysis of Facial Movements: Speech and Non-Speech Tasks", 2018.

- **Sintomas bulbares da ALS**
  - Regiões da face como biomarcadores
- **Tarefas de exames orofaciais**
  - Subjetividade no exame pela **visão dos especialistas**
- **Extração Manual de Características:**
  - Cinemática
- **Modelos Tradicionais de Aprendizado de Máquina**
  - Regressão Logística e SVM



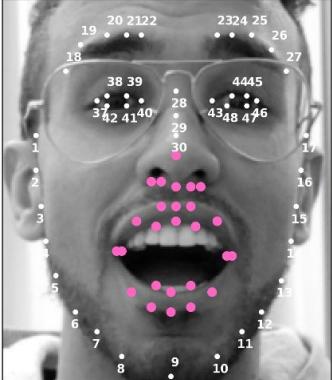
# Introdução

## Detecção Automática de ELA:

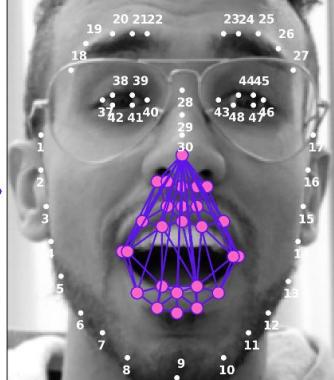
Gomes, N. B., Yoshida, A., Roder, M., de Oliveira, G. C., and Papa, J. P., “**Facial Point Graphs for Amyotrophic Lateral Sclerosis Identification**”, 2023.

- Modelo de **Rede Neural em Grafo**
- **Maior grau de liberdade**, sem extração manual de características

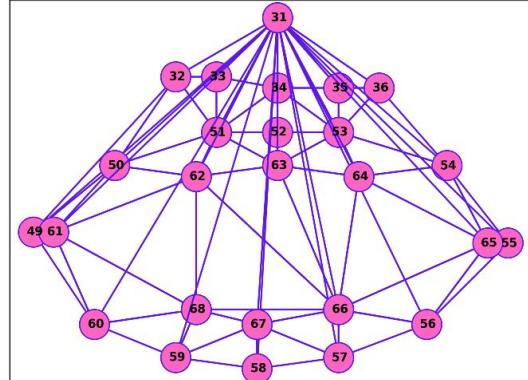
**2D-FAN**  
MULTI-PIE 2D 68-point format



**DELAUNAY**  
TRIANGULATION



**EUCLIDEAN DISTANCE**  
EDGES WEIGHTS BETWEEN NODES



# Introdução

---

## Modelos até então nesse domínio:

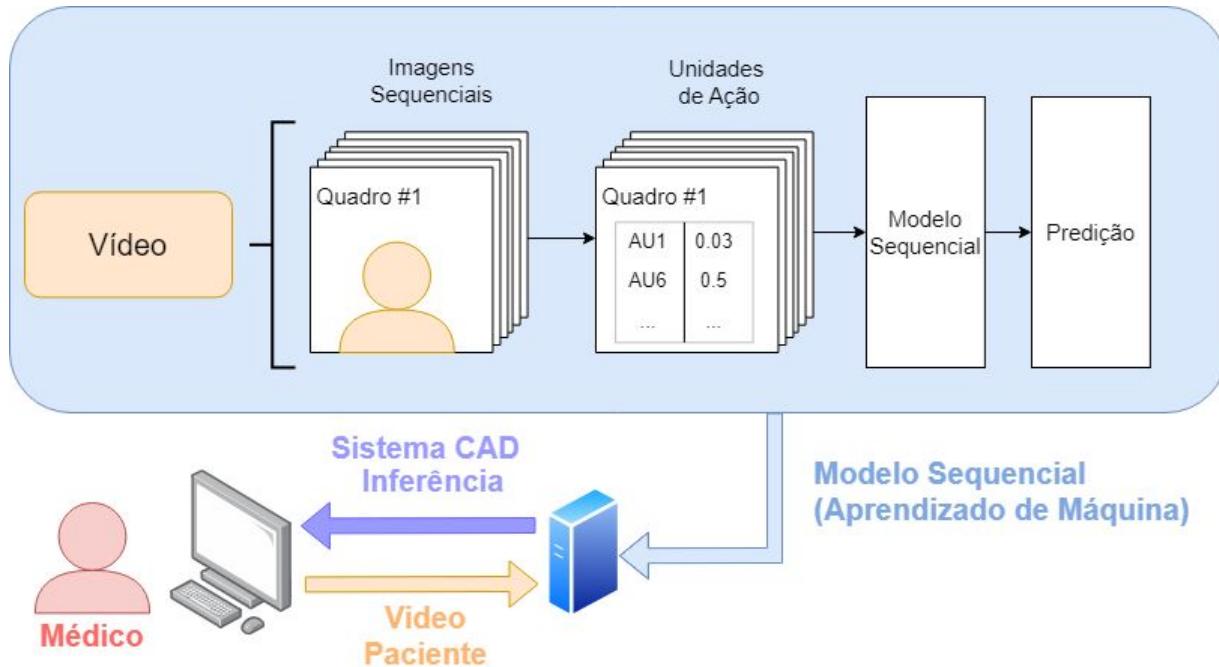
- Limitados pelo grau de liberdade de aprendizado do modelo
- Não analisam a relação temporal

## Abordagem proposta:

- **Modelos de Redes Neurais Recorrentes (RNNs):**
  - Análise Espacial e Temporal
- **Sistema de Codificação de Ações Faciais (FACS)**
  - Extração de Características de Expressões Faciais
- **eXplainable AI (XAI)**
  - Interpretação das inferências geradas pelo modelo de aprendizado profundo

# Introdução

Diante de toda essa **problemática**, esse trabalho focou em explorar essa nova abordagem e transformá-la em uma **aplicação web de auxílio ao diagnóstico** para tornar a **detecção automática e acessível para profissionais de saúde**.



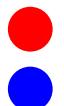
---

# Fundamentação Teórica

---

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
Faculdade de Ciências (FC) / Departamento de Computação (DCo)  
Bauru, SP - Brasil

# Fundamentação Teórica - Redes Neurais



Classic NeuralNet

## FEATURES

Which properties do you want to feed in?

$X_1$

$X_2$

$X_1^2$

$X_2^2$

$X_1 X_2$

$\sin(X_1)$

$\sin(X_2)$

+ - 6 HIDDEN LAYERS

8 neurons

8 neurons

8 neurons

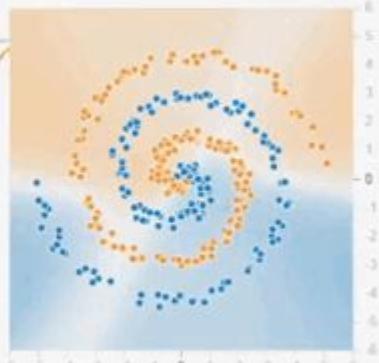
8 neurons

6 neurons

## OUTPUT

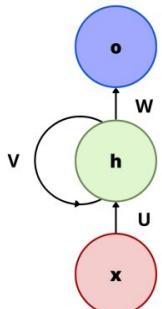
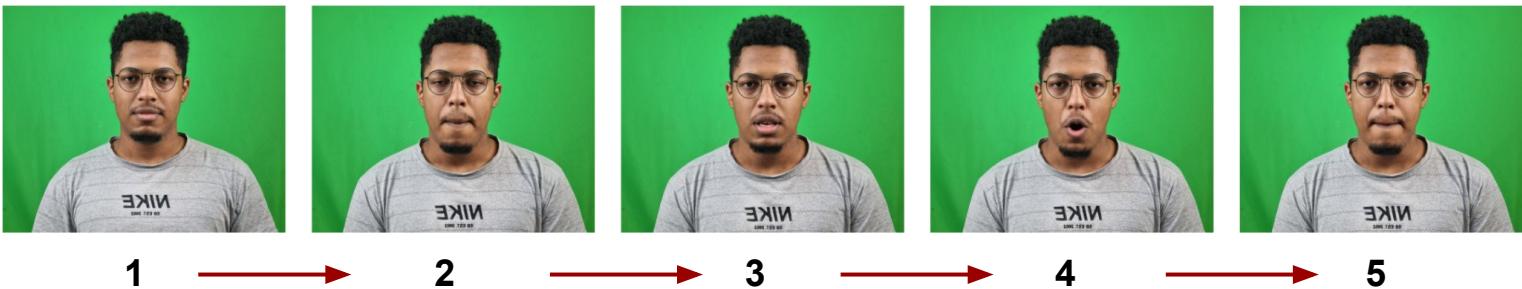
Test loss 0.484

Training loss 0.450

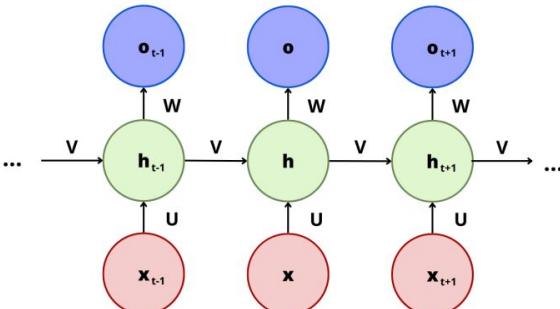


Colors shows  
data, neuron and  
weight values

# Fundamentação Teórica - Redes Neurais Recorrentes

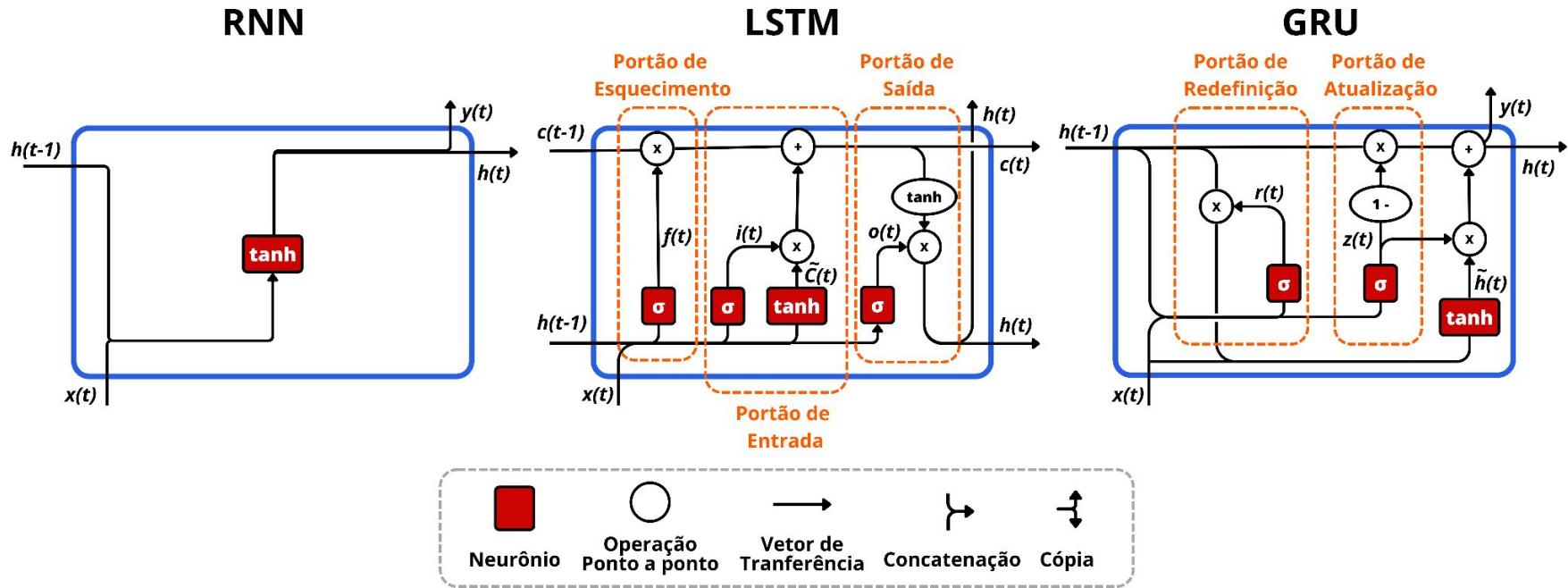


(a) Representação Compacta



(b) Representação Expandida

# Fundamentação Teórica - Modelos Sequenciais

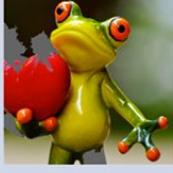


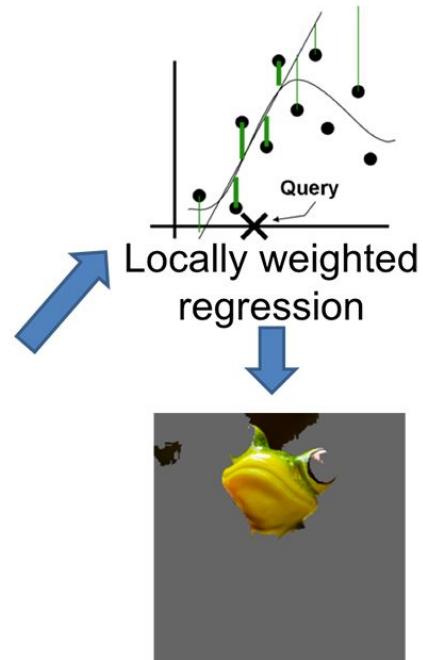
# Fundamentação Teórica - eXplainable AI



Original Image  
 $P(\text{tree frog}) = 0.54$



Perturbed Instances	$P(\text{tree frog})$
	0.85
	0.00001
	0.52



Explanation

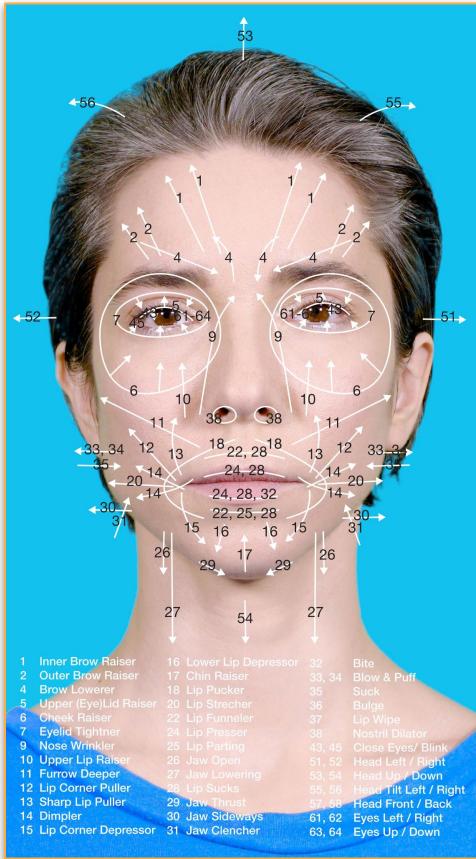
Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME)

# Fundamentação Teórica - Expressões Faciais

---



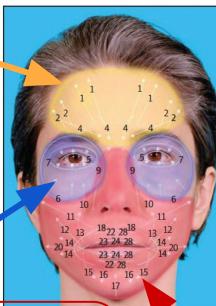
# Fundamentação Teórica - Facial Action Coding System



Upper Third Action Units	Description	Associated Muscle
1	Inner brow raiser	Frontalis, pars medialis
2	Outer brow raiser	Frontalis, pars lateralis
4	Brow lowerer	Depressor glabellae, Depressor supercilii, corrugator

Orbital Action Units	Description	Associated Muscle
5	Upper lid raiser	Levator palpebrae superioris
6	Check raiser	Orbicularis oculi, pars orbitalis
7	Lid tightener	Orbicularis oculi, pars palpebralis
9	Nose wrinkler	Levator labii superioris alaque nasi

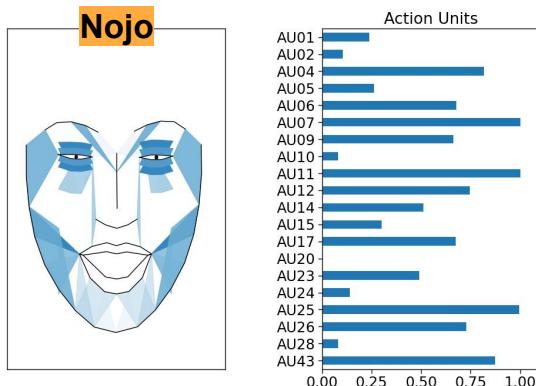
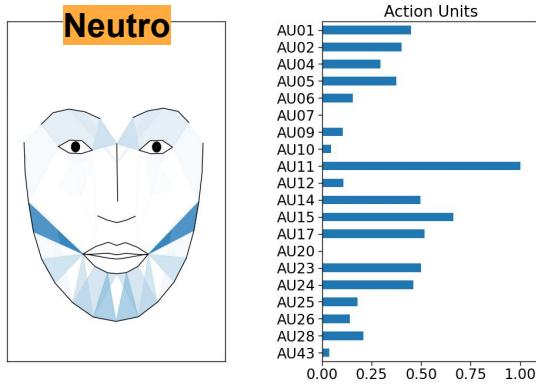
Midface + Lower Two Thirds Action Units	Description	Associated Muscle
10	Upper lip raiser	Levator labii superioris, caput infraorbitalis
11	Nasolabial deepener	Zygomaticus minor
12	Lip corner puller	Zygomaticus major
13	Cheek puffer	Levator anguli oris



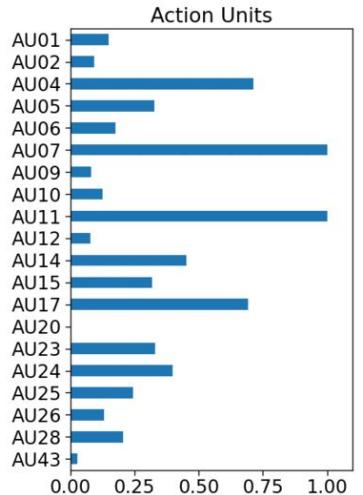
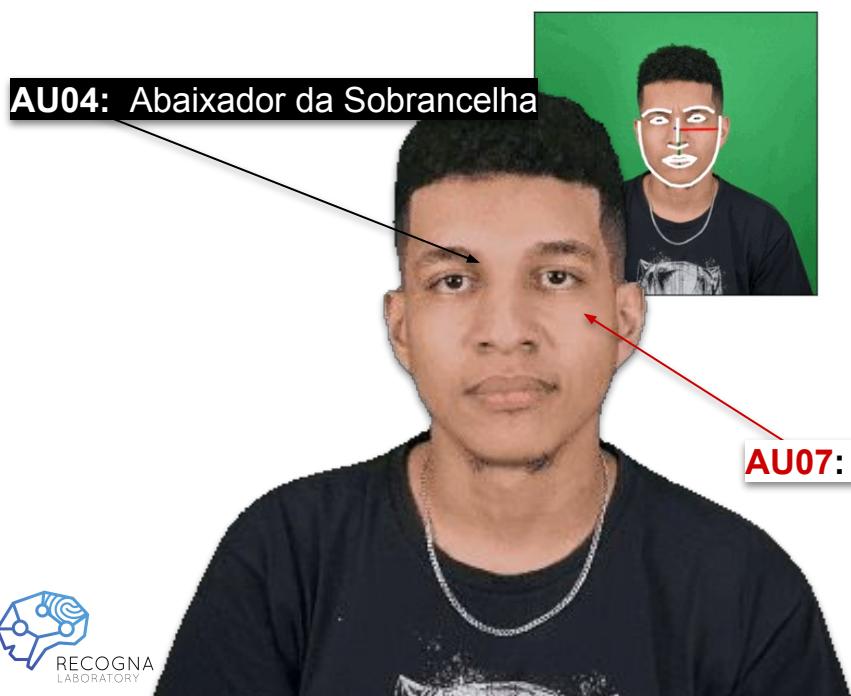
Midface + Lower Two Thirds Action Units	Description	Associated Muscle
14	Dimpler	Buccinator
15	Lip corner depressor	Depressor anguli oris
16	Lower lip depressor	Depressor labii inferioris
17	Chin raiser	Mentalis
18	Lip puckerer	Incisivus labii superioris, incisivus labii inferioris
20	Lip stretcher	Risorius
22	Lip funneler	Orbicularis oris
23	Lip tightener	Orbicularis oris
24	Lip pressor	Orbicularis oris
25	Lips part	Depressor labii inferioris, orbicularis oris, relaxation of mentalis
26	Jaw drop	Masseter, relaxation of temporal pterygoid, relaxation of internal pterygoid
27	Mouth stretch	Pterygoids
28	Lip suck	Orbicularis oris

**FACS:** Criado pelos psicólogos americanos Paul Ekman e Wallace V. Friesen, consiste em **46 Unidades de Ação (AU)** associadas aos músculos responsáveis pelos movimentos da face.

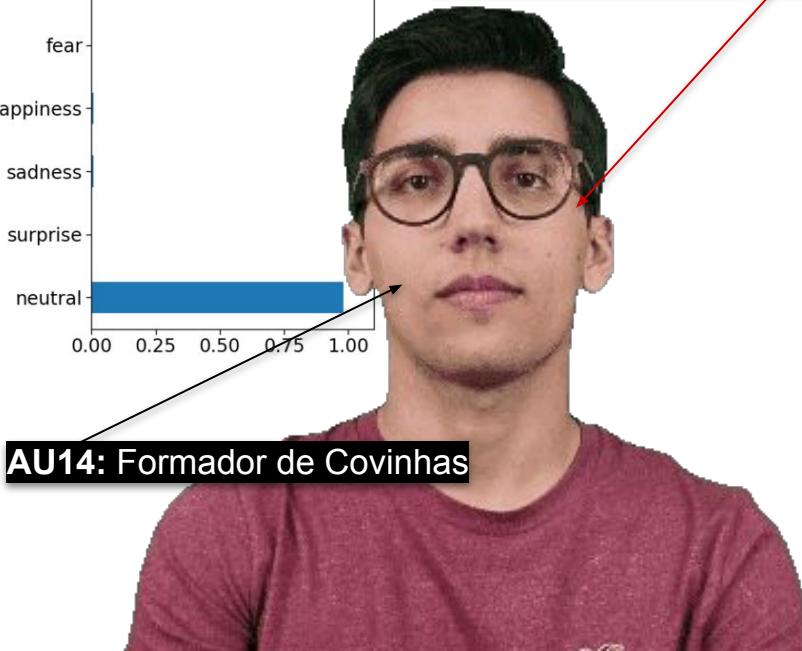
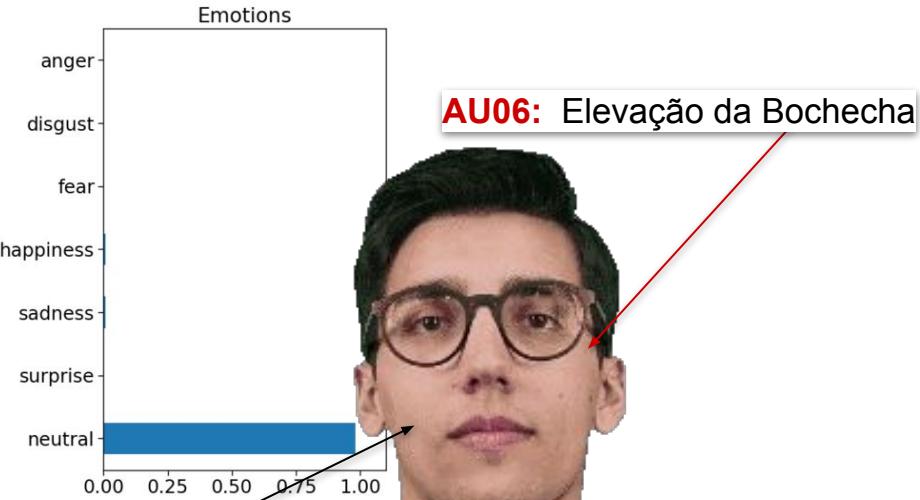
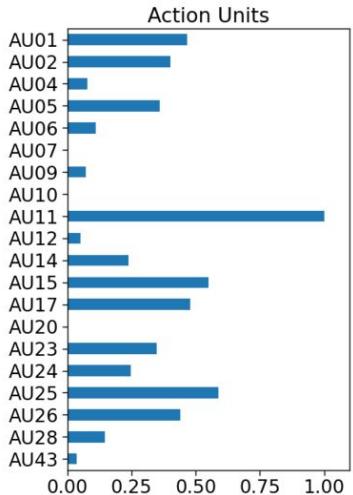
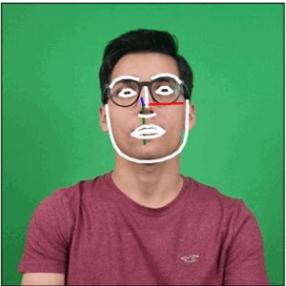
# Fundamentação Teórica - FACS



# Fundamentação Teórica - FACS extraídas pelo Py-feat



# Fundamentação Teórica - FACS extraídas pelo Py-feat



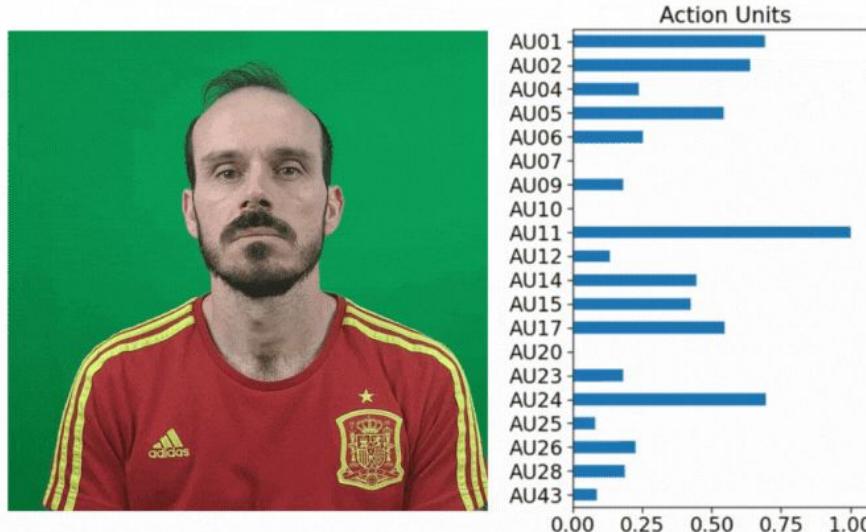
AU06: Elevação da Bochecha

AU14: Formador de Covinhas

# Fundamentação Teórica - FACS extraídas pelo Py-feat

---

- Análise de **Micro e Macro expressões** de forma não invasiva.
- Medidas **Quantitativas** associadas aos **músculos da face**.
- FACS têm sido um objeto de estudo para detecção automática de DN como no trabalho de Ali et al. (2021), reconhecimento de **doença de Parkinson**.



---

# Metodologia

---

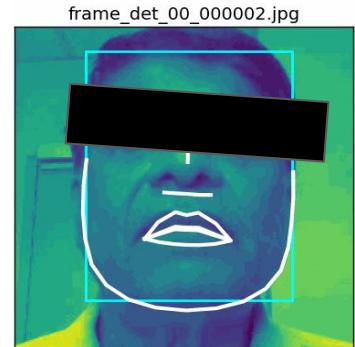
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
Faculdade de Ciências (FC) / Departamento de Computação (DCo)  
Bauru, SP - Brasil

# Metodologia - Toronto Neuroface Dataset

Dataset público com vídeos de exames orofaciais

- 76 videos de 11 pacientes com ELA
- 80 videos de 11 paciente HC

Tarefa	Subtarefa	Descrição	ELA	HC
Não Verbal	<b>SPREAD</b>	Repetições fingindo sorrir com os lábios fechados	55	59
	<b>KISS</b>	Repetições fingindo beijar uma criança	59	57
	<b>OPEN</b>	Repetições com abertura máxima da mandíbula	54	55
	<b>BLOW</b>	Repetições fingindo assoprar uma vela	31	39



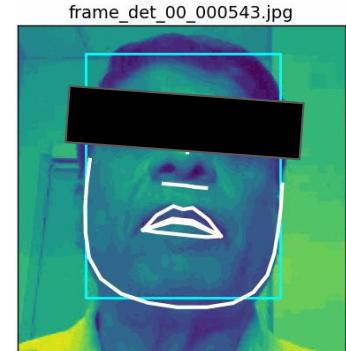
# Metodologia - Toronto Neuroface Dataset

---

Dataset público com vídeos de exames orofaciais

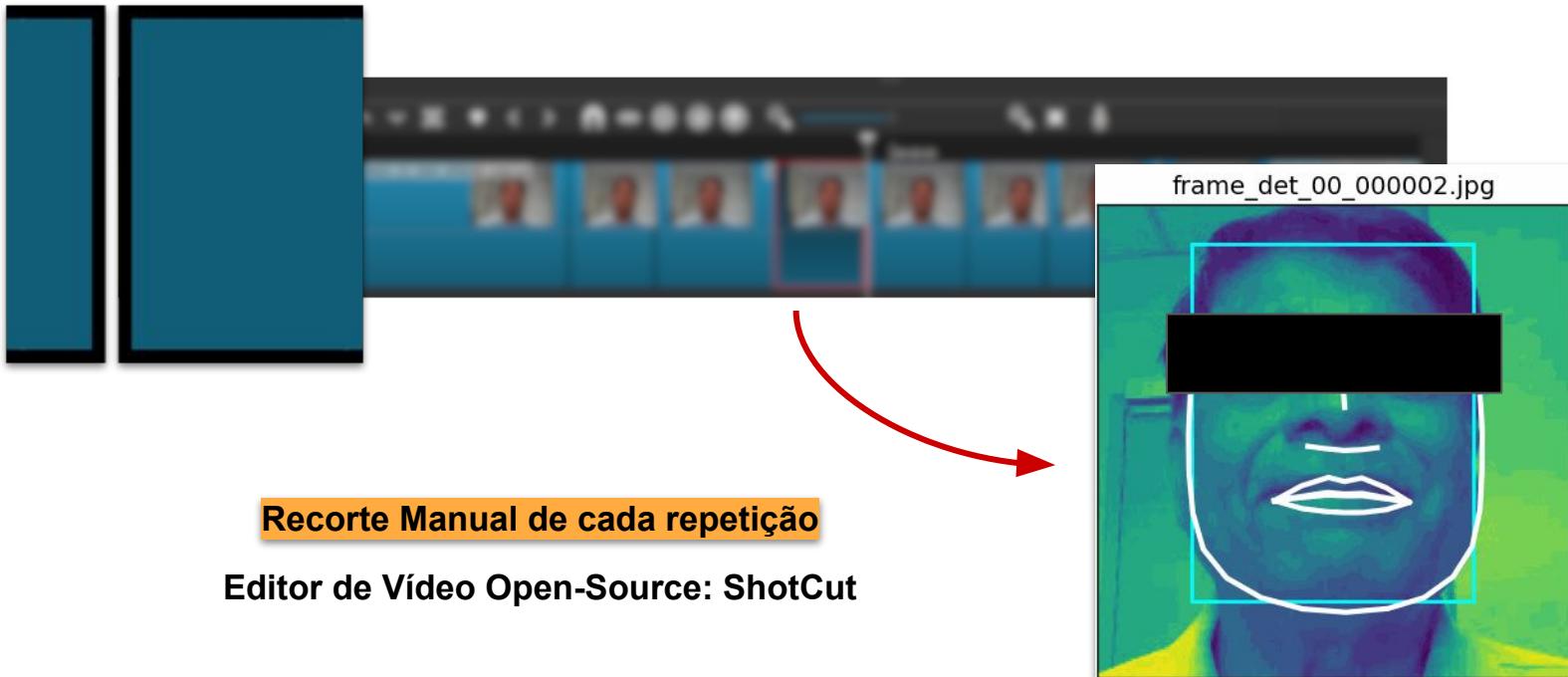
- 76 videos de 11 pacientes com ELA
- 80 videos de 11 paciente HC

Tarefa	Subtarefa	Descrição	ELA	HC
Verbal	<b>BBP</b>	Repetições da frase “Buy Bobby a Puppy”	95	111
	<b>PA</b>	Repetições das sílabas /pa/ o mais rápido	100	110
	<b>PATAKA</b>	Repetições das sílabas /pataka/ o mais	88	108

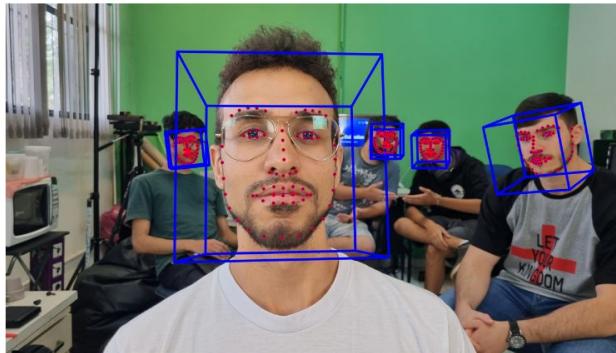


# Metodologia - Preparação do Conjunto de Dados

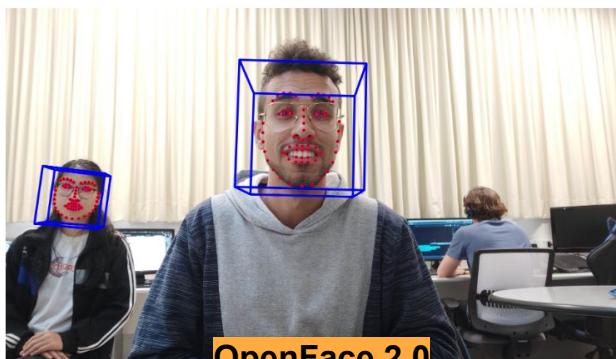
---



# Metodologia - Pré-processamento



Quadro de Entrada



OpenFace 2.0



[1,200,200]

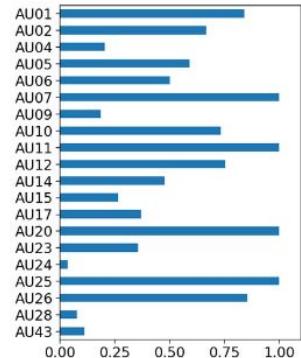
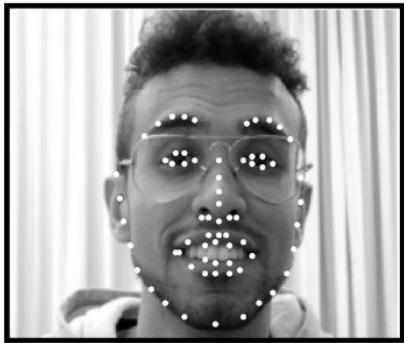
# Metodologia - Extração de Características

Quadro de Entrada:

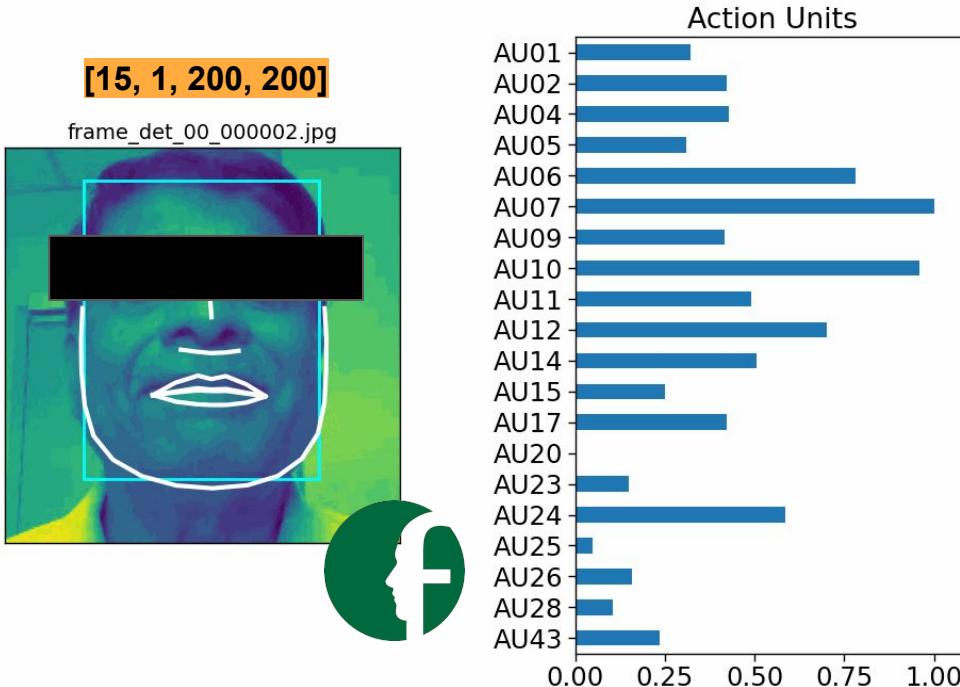


Pré-processamento

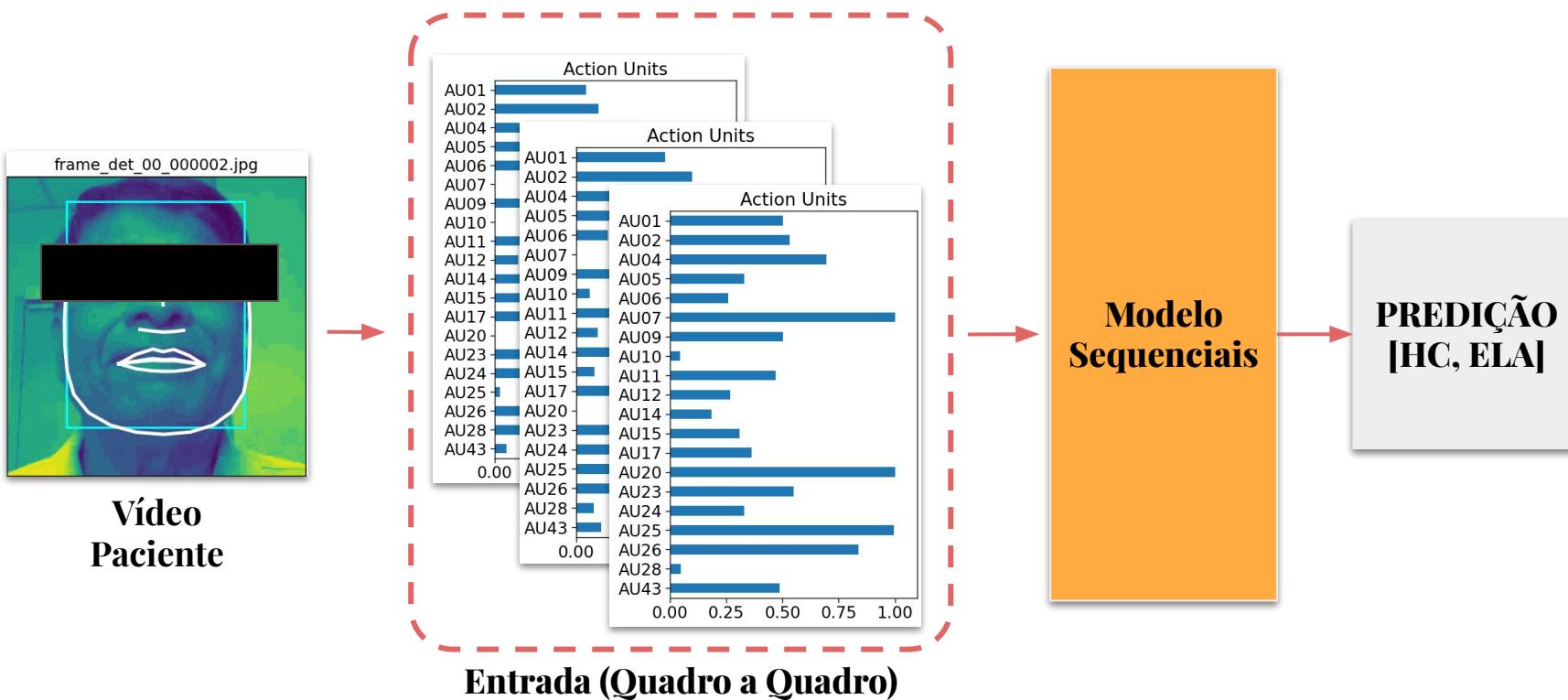
Extração das Unidades de Ação



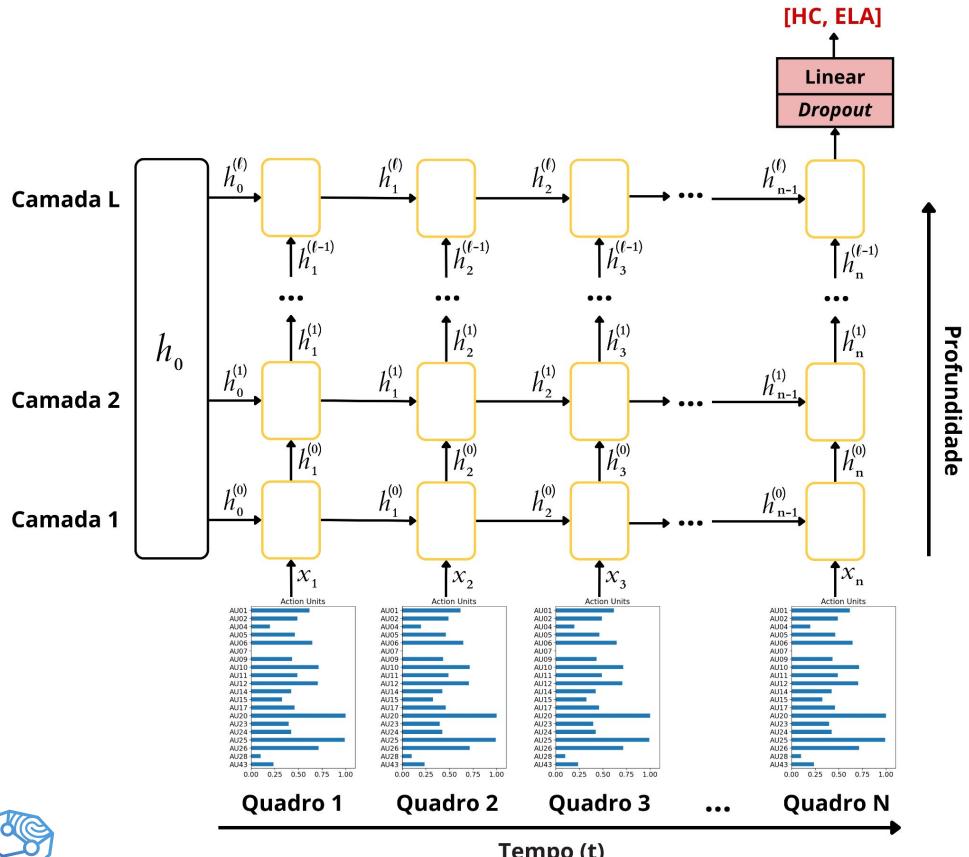
# Metodologia - Extração de Características



# Metodologia - Modelo Proposto

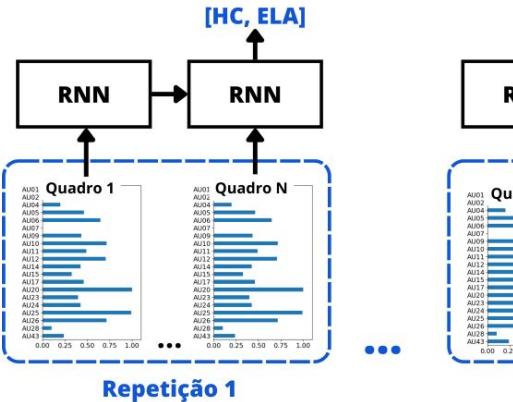


# Metodologia - Modelo Proposto



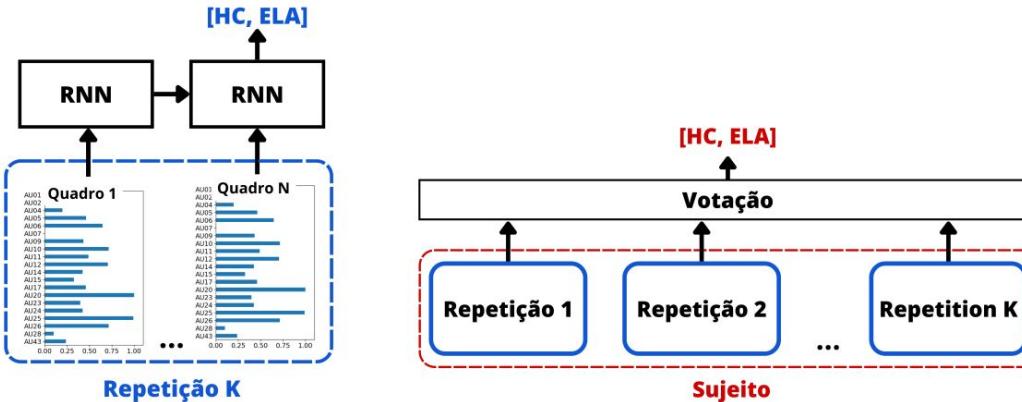
	Input	Hidden Units	Layers	Dropout
<b>RNN</b>	[8,15,20]	60	3	0.3
<b>LSTM</b>	[8,15,20]	60	4	0.4
<b>GRU</b>	[8,15,20]	60	4	0.4

# Metodologia - Classificação



(a) Classificação baseada na repetição

Fonte: Adaptada de (GOMES et al., 2023).



(b) Classificação baseada no sujeito

# Metodologia - Avaliação dos Modelos

---

- **Modelos de Referência:**

- SVM com kernel linear e rbf
- Regressão Logística

- **Matriz de Confusão:**

- Acurácia
- Precisão
- Sensibilidade
  - Pontuação F1

- **Teste de Post-Hoc, comparação dos modelos:**

- Teste de Friedman
  - Teste de Nemenyi

		Classe Preditiva	
		Positivo	Negativo
Classe Verdadeira	Verdadeiro	Falso	
	Positivo (VP)	Negativo (FN)	
Negativo	Falso	Verdadeiro	
	Positivo (FP)	Negativo (VN)	

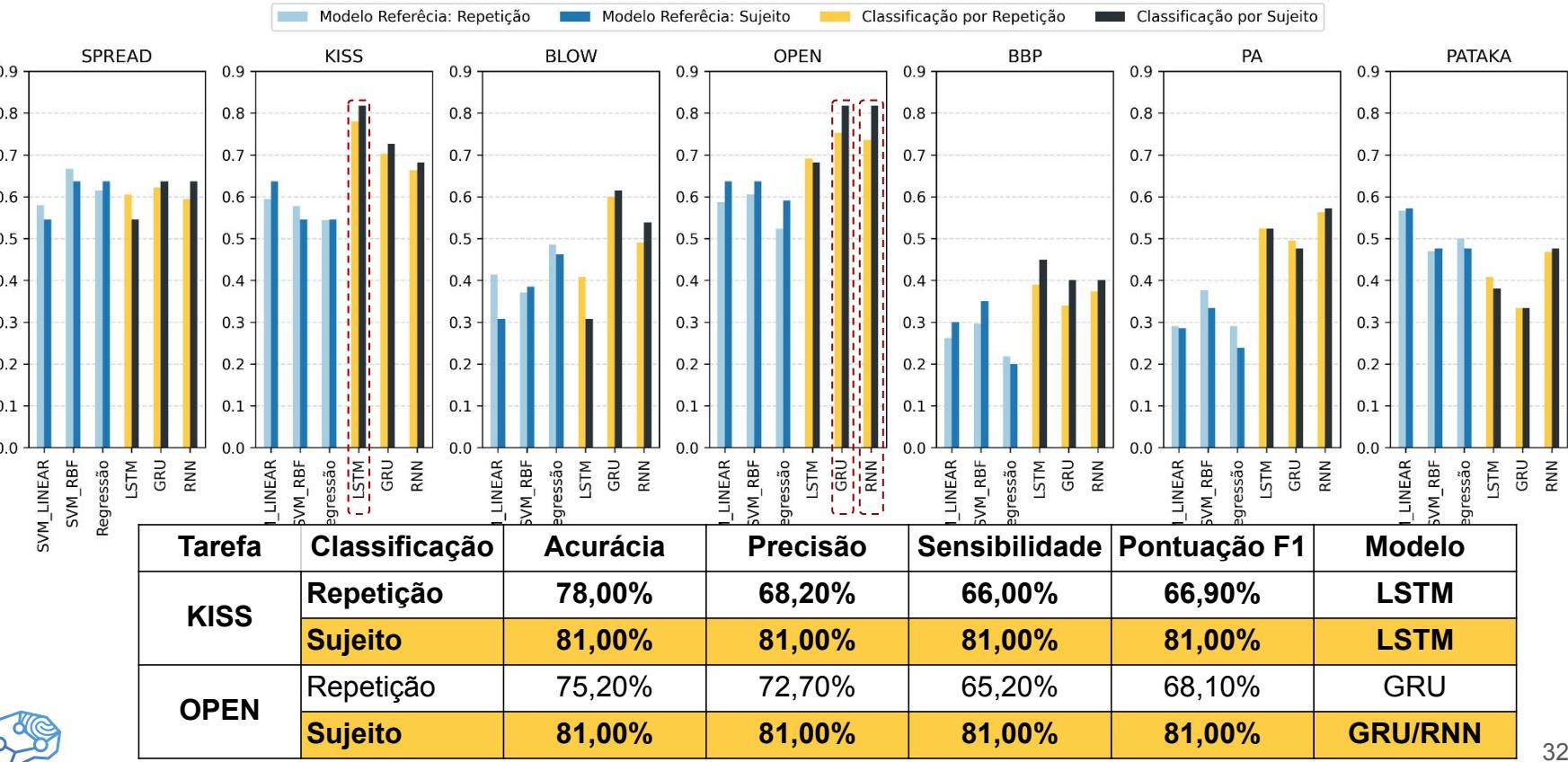
---

# Resultados Experimentais

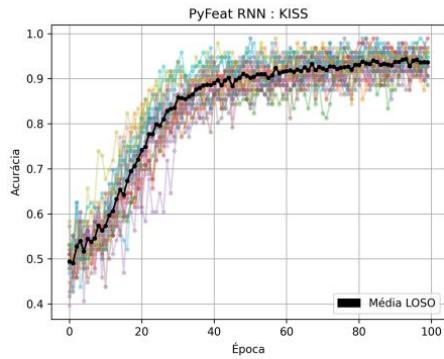
---

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
Faculdade de Ciências (FC) / Departamento de Computação (DCo)  
Bauru, SP - Brasil

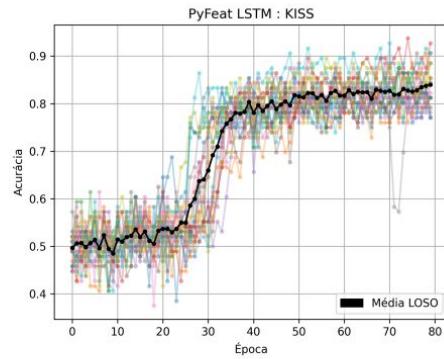
# Resultados Experimentais: Visão Geral



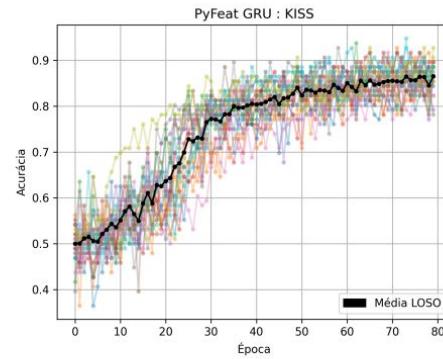
# Resultados Experimentais: Treinamento dos Modelos



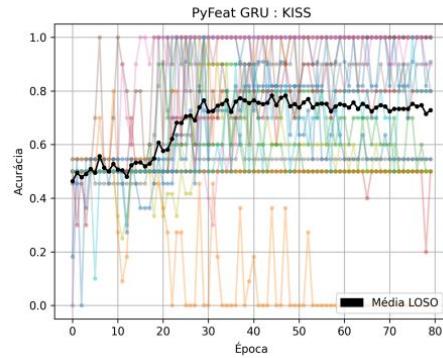
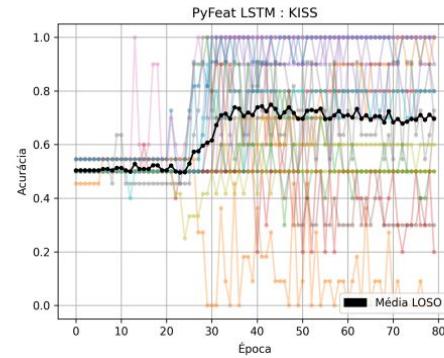
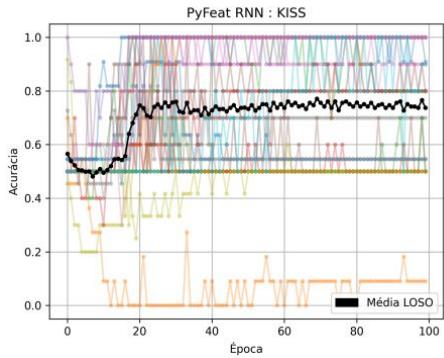
(a) RNN



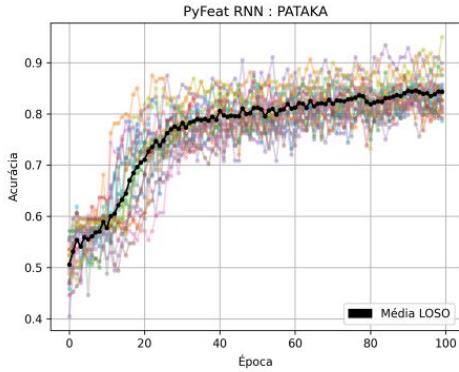
(b) LSTM



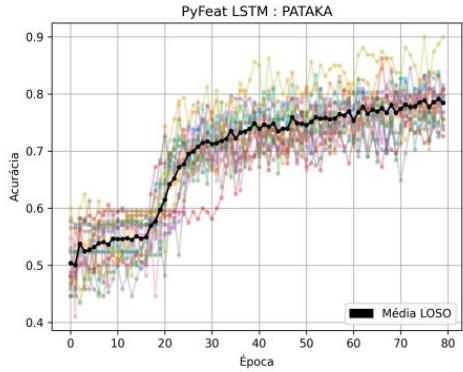
(c) GRU



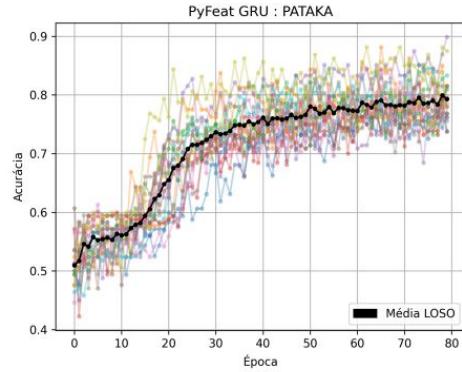
# Resultados Experimentais: Treinamento dos Modelos



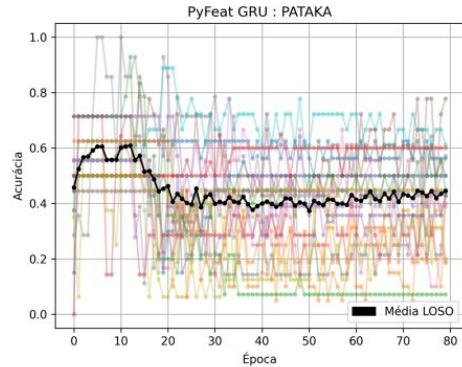
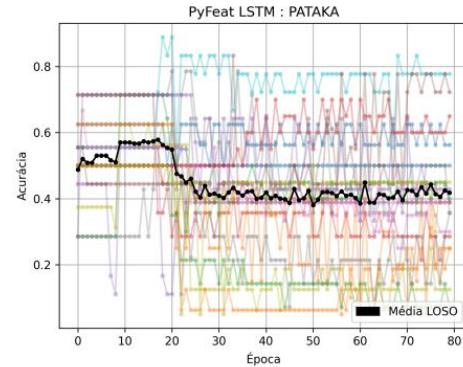
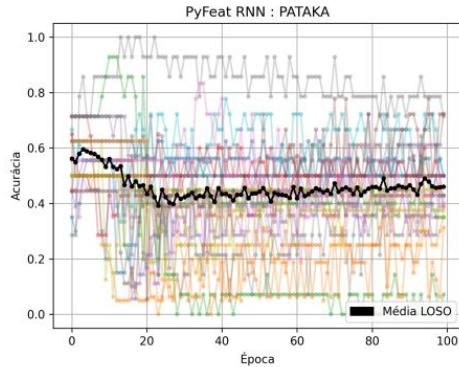
(a) RNN



(b) LSTM

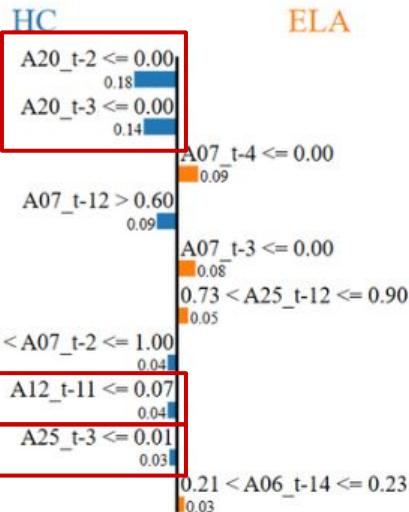


(c) GRU

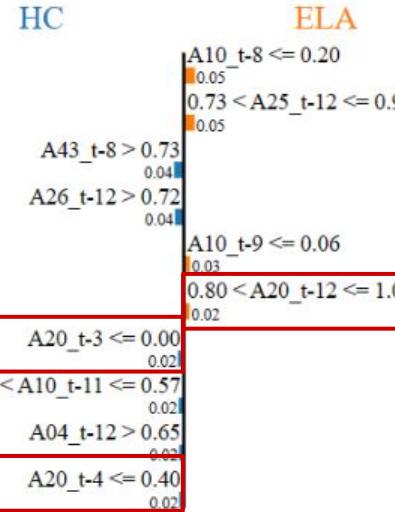
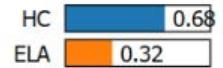


# Resultados Experimentais: Análise LIME

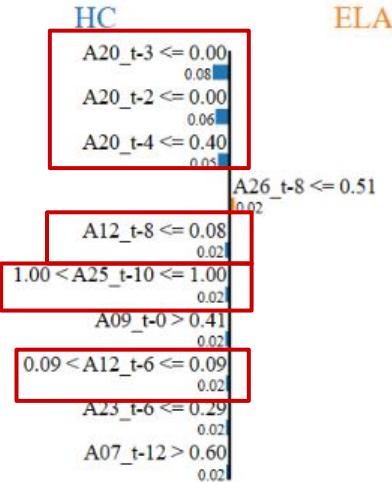
**RNN**



**LSTM**



**GRU**



# Resultados Experimentais: Análise LIME

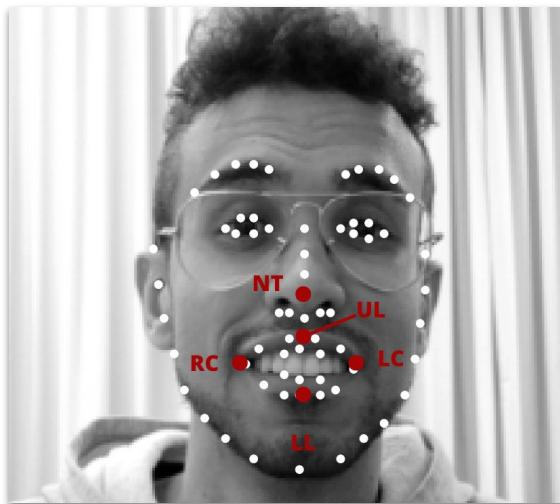
AU12: Elevação do Canto do Lábio



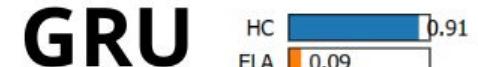
AU20: Alongador do Lábio



AU25: Separação dos Lábios



Bandini et al. (2018)  
Gomes et al. (2023)



HC

A20_t-3 <= 0.00
0.08
A20_t-2 <= 0.00
0.06
A20_t-4 <= 0.40
0.05

ELA

A26_t-8 <= 0.51
0.02

A12_t-8 <= 0.08
0.02

1.00 < A25_t-10 <= 1.00
0.02

A09_t-0 > 0.41
0.02

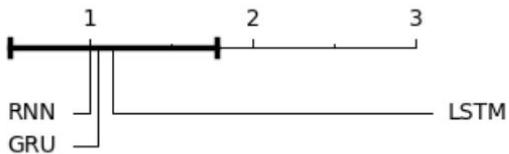
0.09 < A12_t-6 <= 0.09
0.02

A23_t-6 <= 0.29
0.02

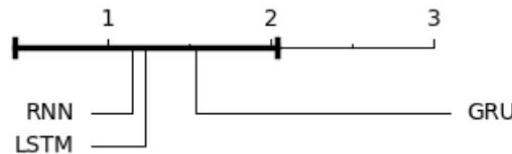
A07_t-12 > 0.60
0.02

# Resultados Experimentais: Comparação dos Modelos

Aplicando às diferentes medidas da Matriz de Confusão, nenhum deles atingiu valor-p for menor ou igual ao nível de significância 0.05, não rejeitando a hipótese. Isso sugere que não há evidência estatística suficiente para concluir que existem diferenças significativas entre os modelos analisados.



(a) Classificação por Repetição KISS

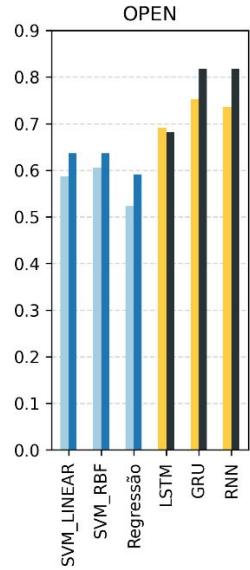


(b) Classificação por Sujeito BLOW

Diagrama de Diferença Crítica Teste de Nemenyi ( $p \leq 0.1$ )

# Resultados Experimentais: Comparação dos Modelos

---



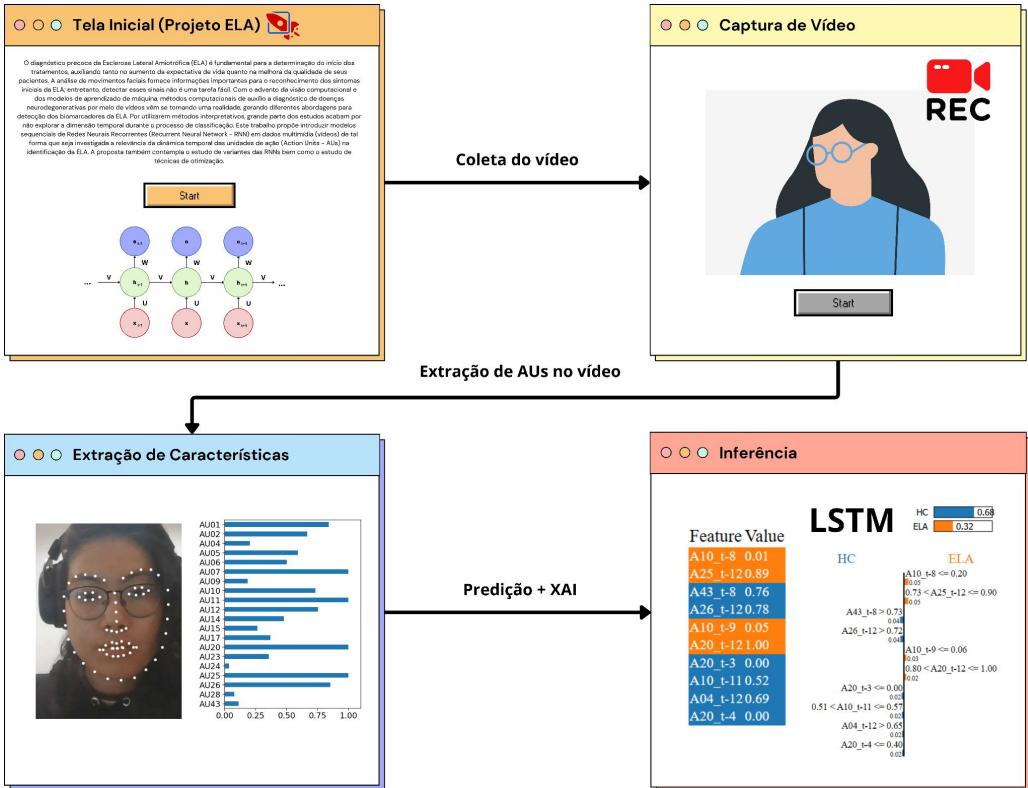
- **Comparações:**
  - RNN se destaca com maior consistência em termos de acurácia comparada a outros modelos sequenciais.
  - Comparando os resultados de cada tarefa, não foi apresentado diferença significativa real (Teste de Friedman com  $p \leq 0.05$ )
  - Tarefa "OPEN" apresenta-se como mais discriminativa
- **Conclusão:**
  - O trabalho final será enriquecido pela **inclusão dos três modelos e foco na tarefa "OPEN"**.

# Aplicação

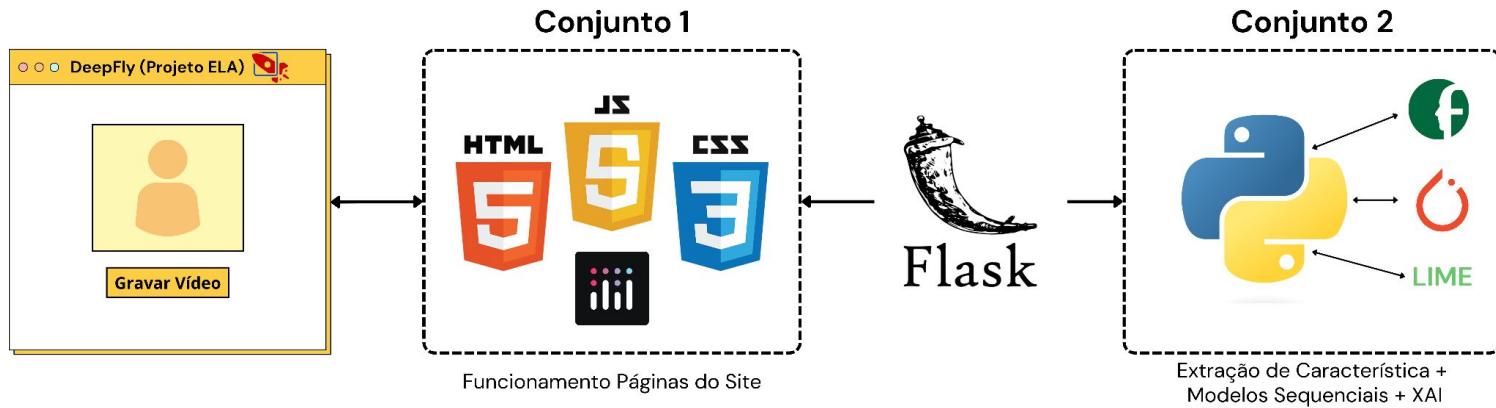
---

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
Faculdade de Ciências (FC) / Departamento de Computação (DCo)  
Bauru, SP - Brasil

# Aplicação: Visão Geral do Projeto



# Aplicação: Visão Geral do Projeto





# Considerações Finais

---

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
Faculdade de Ciências (FC) / Departamento de Computação (DCo)  
Bauru, SP - Brasil

# Considerações Finais

---

Ferramenta de **AUXÍLIO AO DIAGNÓSTICO**, não deve ser substituída pela decisão final do médico.

- Contribuições
  - A abordagem por **Análise temporal e FACS** se mostrou promissora dentro do domínio de Detecção de ELA
  - Construção de ferramenta de **baixo custo e modular** para análise facial
  - Divulgação de pesquisa em cima da análise facial para diagnóstico de ELA.
- Limitações
  - **Conjunto de dados pequeno**, modelos não conseguem aprender generalizações, sendo **ainda** inviável para uma aplicação real.
- Trabalhos Futuros
  - Tratamento de dados para que a ferramenta consiga ser **disponível de forma online**
  - Uso da ferramenta para estudo de **outras Doenças Neurodegenerativas**

# Referências

---

- XU, R.-S.; YUAN, M. **Considerations on the concept, definition, and diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis.** Neural Regeneration Research, Wolters Kluwer–Medknow Publications, v. 16, n. 9, p. 1723, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33510061/>. Acesso em: 02 Novembro 2023.
- A. Bandini, J. R. Green, B. Taati, S. Orlandi, L. Zinman and Y. Yunusova, "**Automatic Detection of Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) from Video-Based Analysis of Facial Movements: Speech and Non-Speech Tasks,**" 2018 13th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2018).
- Gomes, N. B., Yoshida, A., Roder, M., de Oliveira, G. C., and Papa, J. P., "**Facial Point Graphs for Amyotrophic Lateral Sclerosis Identification**", arXiv preprint arXiv:2307.12159, 2023.
- YU, Yong et al. **A review of recurrent neural networks: LSTM cells and network architectures.** Neural computation, v. 31, n. 7, p. 1235-1270, 2019.
- CHEONG, Jin Hyun et al. **Py-feat: Python facial expression analysis toolbox.** Affective Science, p. 1-16, 2023.
- BANDINI, Andrea et al. **A new dataset for facial motion analysis in individuals with neurological disorders.** IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, v. 25, n. 4, p. 1111-1119, 2020
- BALTRUSAITIS, Tadas et al. **Openface 2.0: Facial behavior analysis toolkit.** In: 2018 13th IEEE international conference on automatic face & gesture recognition (FG 2018). IEEE, 2018. p. 59-66.

# Dúvidas? :D

---

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
Faculdade de Ciências (FC) / Departamento de Computação (DCo)  
Bauru, SP - Brasil

---

# Agradecimentos Finais

---

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
Faculdade de Ciências (FC) / Departamento de Computação (DCo)  
Bauru, SP - Brasil







