

Reconhecimento de movimentos contínuos

Machine Learning Embarcado

Reconhecimento de movimentos contínuos

- Você usará o aprendizado de máquina para criar um sistema de reconhecimento de gestos que seja executado em um sistema embarcado.
- Essa é uma tarefa difícil de resolver usando programação baseada em regras, pois as pessoas não executam gestos exatamente da mesma maneira todas as vezes.
- Mas o aprendizado de máquina pode lidar com essas variações com facilidade.

Reconhecimento de movimentos contínuos

- Você aprenderá a:
 - coletar dados de alta frequência de sensores reais,
 - usar o processamento de sinais para limpar os dados,
 - a criar um classificador de rede neural
 - implantar seu modelo em um dispositivo.
- Ao final, você terá uma compreensão geral da aplicação do aprendizado de máquina em dispositivos embarcados.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Entre em uma plataforma de inteligência artificial na nuvem

- Utilizaremos o Edge Impulse (conta gratuita)

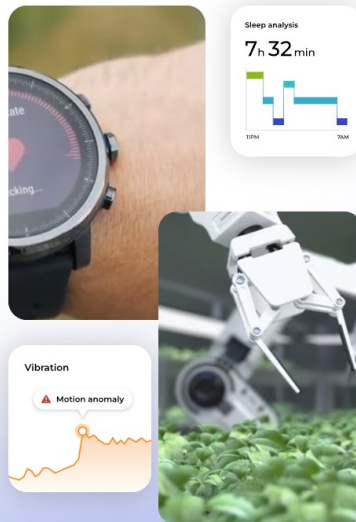


**Build. Train.
Optimize.
AI for the edge.**

Build datasets, train models, and optimize libraries to run on any edge device, from extremely low-power MCUs to efficient Linux CPU targets and GPUs.

[Get Started](#)

[Schedule a demo](#)



Reconhecimento de movimentos contínuos

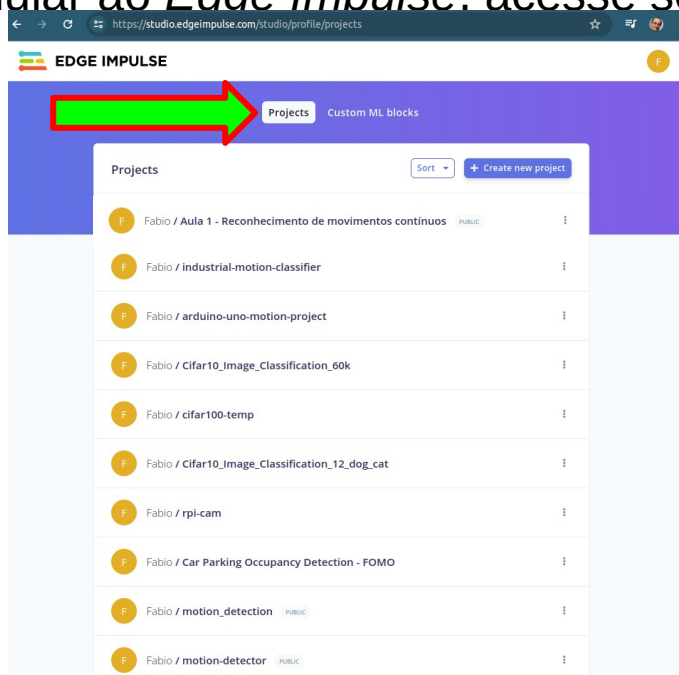
Conecte o seu sistema embarcado

- Você pode utilizar qualquer smartphone com um navegador.
- Você poderá obter amostras de dados brutos (do acelerômetro, do microfone e da câmera), criar modelos e implantar modelos de aprendizado de máquina diretamente do estúdio.
- Seu telefone se comporta como qualquer outro dispositivo, e os dados e modelos que você criar usando seu telefone celular também poderão ser implantados em outros dispositivos (sistemas embarcados).

Reconhecimento de movimentos contínuos

Conecte o seu sistema embarcado

- Para conectar seu celular ao *Edge Impulse*, acesse seu projeto

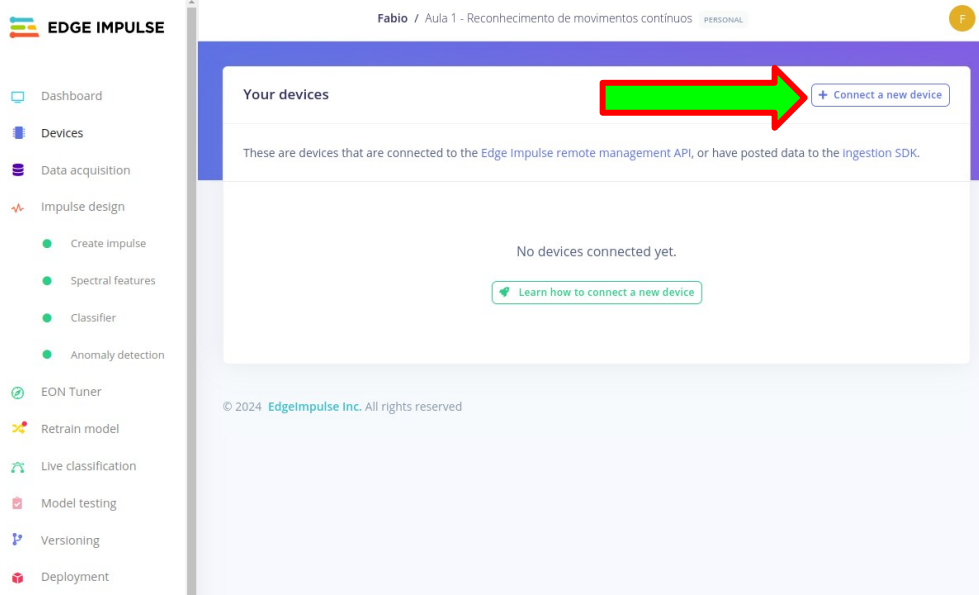


Lista dos seus projetos

Reconhecimento de movimentos contínuos

Conecte o seu sistema embarcado

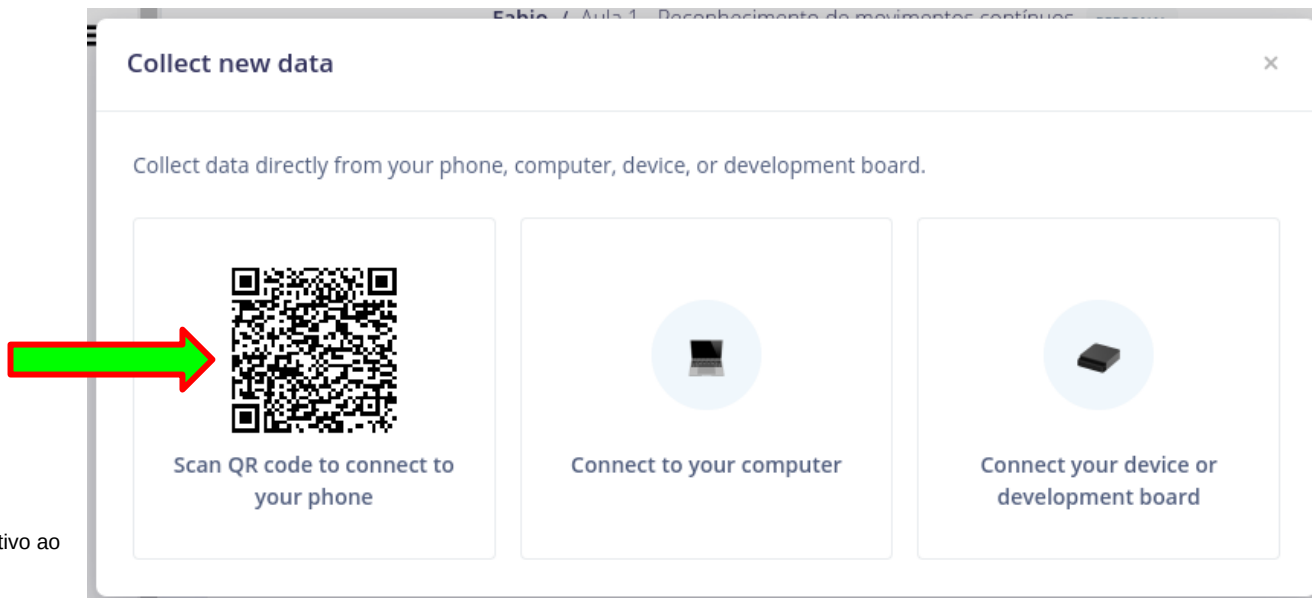
- Vá para a página **Devices** (Dispositivos).
- Em seguida, clique em **Connect a new device** (Conectar um novo dispositivo).



Reconhecimento de movimentos contínuos

Conecte o seu sistema embarcado

- Selecione ***Scan QR code to connect to your phone***



Conexão de um dispositivo ao seu projeto.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Conecte o seu sistema embarcado

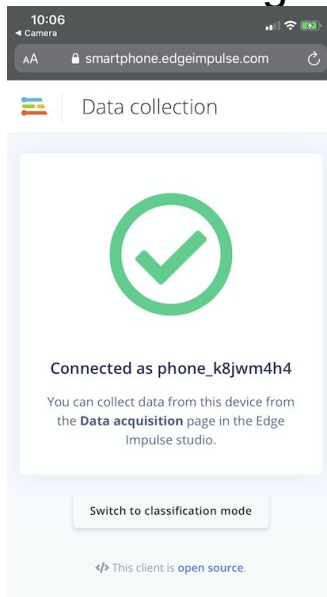
- Um código QR será exibido.
- Digitalize o código QR com a câmera do seu telefone.
 - alguns telefones reconhecerão automaticamente o código e oferecerão a abertura de uma janela do navegador



Reconhecimento de movimentos contínuos

Conecte o seu sistema embarcado

- A página que abre no celular registra o dispositivo diretamente no projeto.
- Em seu telefone, você verá uma mensagem **Connected** (Conectado).

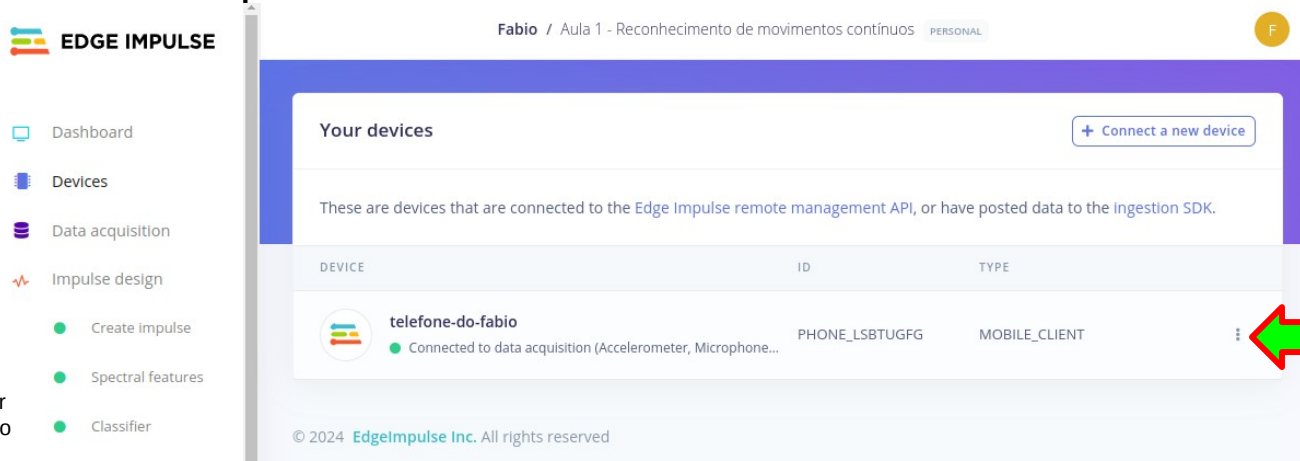


Mensagem em seu telefone indicando
conexão bem sucedida


Reconhecimento de movimentos contínuos

Conecte o seu sistema embarcado

- Pronto! Seu dispositivo agora está conectado.
- Se você retornar à página **Devices** (Dispositivos) no estúdio, seu telefone será exibido como conectado. Você pode alterar o nome do seu dispositivo clicando em no 3 pontos verticais.



The screenshot shows the Edge Impulse Studio interface. On the left is a sidebar with navigation links: Dashboard, Devices, Data acquisition, Impulse design, Create impulse, Spectral features, and Classifier. The main area displays the 'Your devices' section, which includes a table of connected devices. The table has columns for DEVICE, ID, and TYPE. One device is listed: 'telefone-do-fabio' with ID 'PHONE_LSBTUGFG' and TYPE 'MOBILE_CLIENT'. A red arrow points to the three-dot menu icon next to the device name.

DEVICE	ID	TYPE
 telefone-do-fabio ● Connected to data acquisition (Accelerometer, Microphone...)	PHONE_LSBTUGFG	MOBILE_CLIENT

Página de dispositivos
mostrando um telefone celular
como um dispositivo conectado

Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados

- Com seu dispositivo conectado, podemos coletar alguns dados.
- No estúdio, vá para a guia **Data acquisition** (Aquisição de dados)

EDGE IMPULSE

Dashboard
Devices
Data acquisition
Impulse design
Create impulse
Spectral features
Classifier
Anomaly detection
EON Tuner
Retrain model
Live classification
Model testing
Versioning
Deployment

Área de aquisição de dados

Fabio / Aula 1 - Reconhecimento de movimentos contínuos PERSONAL

Dataset Data explorer Data sources CSV Wizard

DATA COLL... 15m 16s TRAIN / T... 84...

Collect data

Device ②
telefone-do-fabio

Label
Label name

Sample length (ms.)
10000

Sensor
Accelerometer

Frequency
62.5Hz

Start sampling

RAW DATA
Click on a sample to load...

SAMPLE ...	LABEL	ADDED	LENGTH
updown...	updown	Dec 23 20...	5s
idle.1.c...	idle	Dec 23 20...	10s
wave.9...	wave	Dec 23 20...	10s
updown...	updown	Dec 23 20...	5s
snake.1...	snake	Dec 23 20...	10s
idle.16...	idle	Dec 23 20...	10s
wave.3...	wave	Dec 23 20...	10s

Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados

- Esse é o local onde todos os dados brutos são armazenados e, se o dispositivo estiver conectado à API de gerenciamento remoto, onde você pode começar a coletar novos dados.

Área de aquisição de dados:
início de aquisição de dados

The screenshot shows the Edge Impulse web interface. On the left is a sidebar with navigation links: Dashboard, Devices, Data acquisition, Impulse design, EON Tuner, Retrain model, Live classification, Model testing, Versioning, and Deployment. The main area is titled 'Fabio / Aula 1 - Reconhecimento de movimentos contínuos - PERSONAL'. It has tabs for Dataset, Data explorer, Data sources, and CSV Wizard. The 'Dataset' tab is active, showing a table with training and test data. To the right is the 'Collect data' section, which includes a 'Device' dropdown (set to 'telefone-do-fabio'), a 'Label' input field, a 'Sample length (ms.)' input field (set to 10000), a 'Sensor' dropdown (set to 'Accelerometer'), and a 'Frequency' dropdown (set to 62.5Hz). A blue 'Start sampling' button is at the bottom of this section, with a red arrow pointing to it. Below the button is a dark blue box with the text 'RAW DATA Click on a sample to load...'.

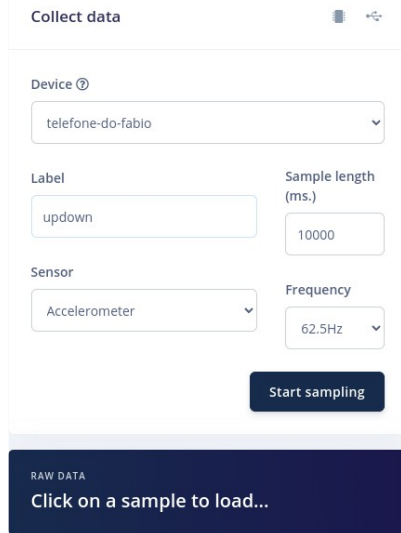
SAMPLE ...	LABEL	ADDED	LENGTH
updown...	updown	Dec 23 20...	5s
idle.1.c...	idle	Dec 23 20...	10s
wave.9...	wave	Dec 23 20...	10s
updown...	updown	Dec 23 20...	5s
snake.1...	snake	Dec 23 20...	10s
idle.16...	idle	Dec 23 20...	10s
wave.3...	wave	Dec 23 20...	10s

Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados

- Em **Collect data** (Coletar dados):
 - selecione o seu dispositivo (**Device**)
 - defina o rótulo como updown (**Label**)
 - o comprimento da amostra como 10000 (**Sample Length**)
 - o sensor como acelerômetro (**Accelerometer**)
 - a frequência como 62,5Hz.
- Você pode editar esses rótulos posteriormente, se necessário

Tela de coleta de
novos dados



The screenshot shows a web interface titled "Collect data". It contains several input fields and a button:

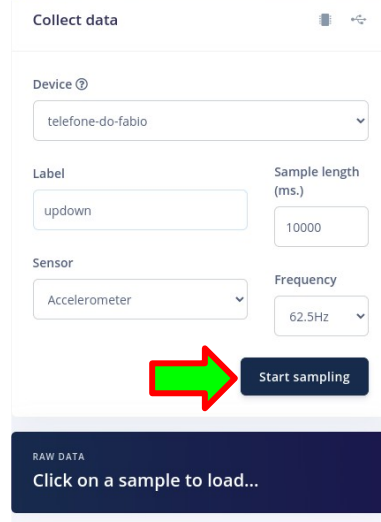
- Device**: A dropdown menu with "telefone-do-fabio" selected.
- Label**: A text input field containing "updown".
- Sample length (ms.)**: A text input field containing "10000".
- Sensor**: A dropdown menu with "Accelerometer" selected.
- Frequency**: A dropdown menu with "62.5Hz" selected.
- Start sampling**: A dark blue button.

At the bottom of the interface, there is a dark blue bar with the text "RAW DATA" and "Click on a sample to load..."

Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados

- Depois de clicar em ***Start sampling*** (Iniciar amostragem), mova o seu telefone para cima e para baixo em um movimento contínuo.
- Em cerca de doze segundos, o dispositivo deverá concluir a amostragem e enviar o arquivo de volta ao ***Edge Impulse***.



Collect data

Device ②

telephone-do-fabio

Label

updown

Sample length (ms.)

10000

Sensor

Accelerometer

Frequency

62.5Hz

Start sampling

RAW DATA

Click on a sample to load...

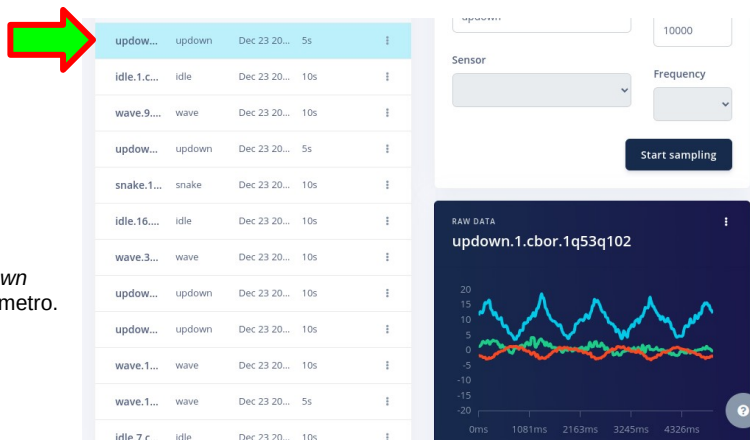
Tela de coleta de
novos dados

Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados

- Você verá uma nova linha aparecer em “**Dataset**” (Conjunto de Dados).
- Ao clicar nela, você verá os dados brutos representados graficamente.
- Como o acelerômetro tem três eixos, você verá três linhas diferentes, uma para cada eixo.

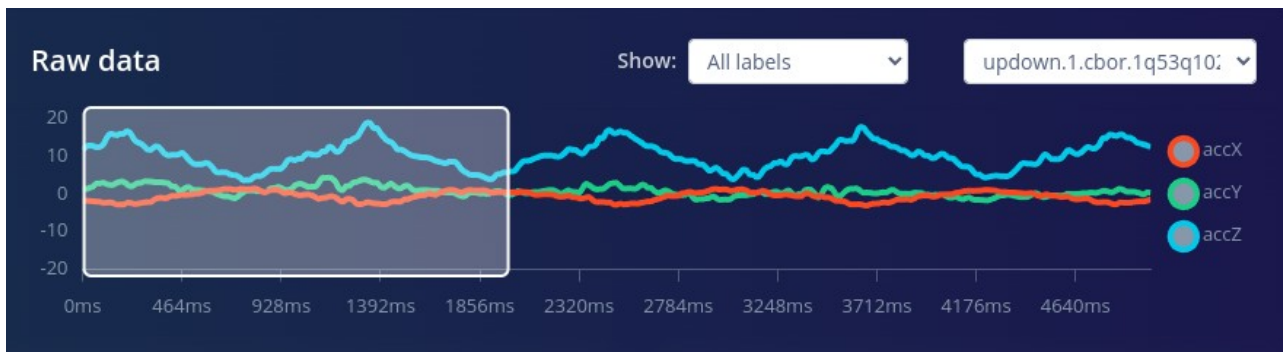
Movimento de *updown*
registrado pelo acelerômetro.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados

- É importante fazer movimentos contínuos, pois posteriormente dividiremos os dados em janelas menores.



Janelas deslizantes para
processar os dados

Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados

- O aprendizado de máquina funciona melhor com **muitos dados**, portanto, uma única amostra não é suficiente. Agora é a hora de começar a criar seu próprio conjunto de dados.

Reconhecimento de movimentos contínuos

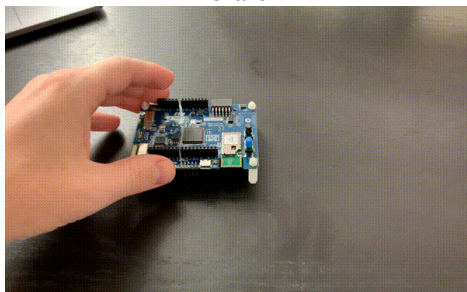
Colete seus dados

- Por exemplo, use as quatro classes a seguir e registre cerca de 3 minutos de dados por classe:
 - *idle* - apenas mantenha o telefone parado na sua mesa enquanto você registra os dados.
 - *snake* - mover o dispositivo sobre a mesa como uma cobra.
 - *wave* - agitar o dispositivo da esquerda para a direita.
 - *updown* - mover o dispositivo para cima e para baixo.

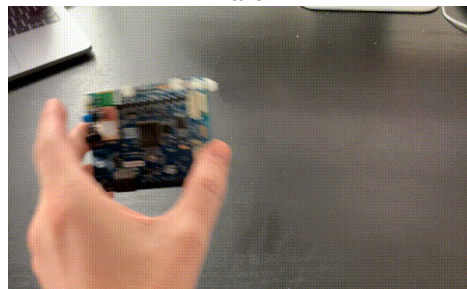
idle



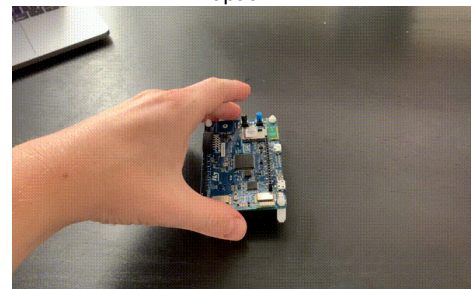
snake



wave



updown



Reconhecimento de movimentos contínuos

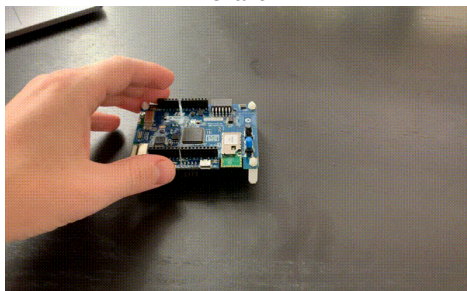
Colete seus dados

- Certifique-se de realizar **variações** nos movimentos.
- Por exemplo, faça movimentos lentos e rápidos e varie a orientação do telefone.
 - Você não tem como saber como o usuário movimenta o dispositivo.

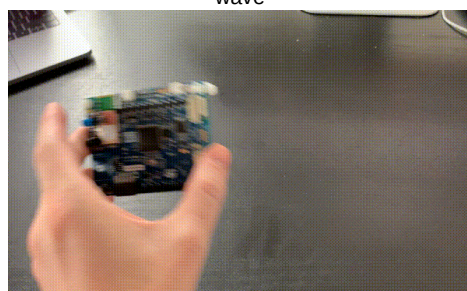
idle



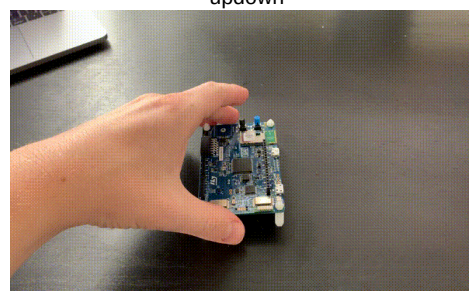
snake



wave



updown



Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados (ou baixe um conjunto de dados pré-construído)

- Você pode experimentar importar conjuntos de dados disponibilizados pela comunidade de desenvolvedores como, por exemplo, esse disponível pelo QR code abaixo:

QR code para conjunto de
dados pré-construído

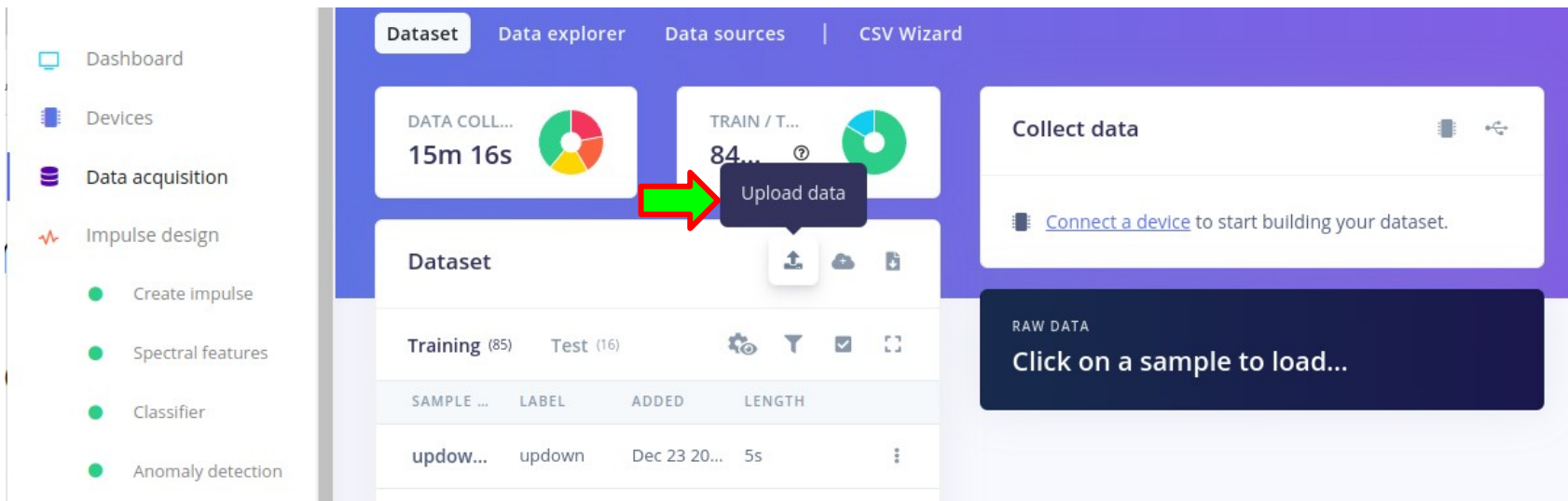


Reconhecimento de movimentos contínuos

Colete seus dados (ou baixe um conjunto de dados pré-construído)

- Nesse caso, utilize a opção **Upload Data**(Transfira dados)

Carregar dados
pré-construídos



The screenshot displays the DataCamp interface. On the left is a sidebar with navigation links: Dashboard, Devices, Data acquisition, Impulse design, Create impulse, Spectral features, Classifier, and Anomaly detection. The main area has a top navigation bar with 'Dataset', 'Data explorer', 'Data sources', and 'CSV Wizard'. Below this, there are two cards: 'DATA COLL...' showing '15m 16s' and 'TRAIN / T...' showing '84...'. A red arrow points from the 'DATA COLL...' card to the 'Upload data' button. The 'Dataset' tab is active, showing a table with columns 'SAMPLE ...', 'LABEL', 'ADDED', and 'LENGTH'. The table has two rows: 'updown...' and 'updown'. A dark blue box at the bottom right says 'RAW DATA' and 'Click on a sample to load...'. A 'Collect data' section on the right says 'Connect a device to start building your dataset.'

SAMPLE ...	LABEL	ADDED	LENGTH
updown...	updown	Dec 23 20...	5s

Reconhecimento de movimentos contínuos

Construa o seu fluxo de dados(*pipeline*)

- Com o conjunto de treinamento pronto, você pode desenvolver seu pipeline de dados.

The screenshot displays a drag-and-drop interface for building a data pipeline. It features four main blocks arranged horizontally, each with a distinct color and icon:

- Time series data (Red block):** Contains settings for 'Input axes (3)' (accX, accY, accZ), 'Window size' (2000 ms), 'Window increase' (240 ms), 'Frequency (Hz)' (62.5), and 'Zero-pad data' (checkbox).
- Spectral Analysis (White block):** Includes a 'Name' field (Spectral features), 'Input axes (3)' (accX, accY, accZ), and a trash icon.
- Classification (Purple block):** Includes a 'Name' field (Classifier), 'Input features' (Spectral features), and 'Output features' (4 (idle, snake, updown, wave)).
- Output features (Green block):** Displays the output features (4 (idle, snake, updown, wave)) and a 'Save Impulse' button.

At the bottom, there are two dashed boxes for adding new blocks: 'Add a processing block' (lightning bolt icon) and 'Add a learning block' (flask icon).

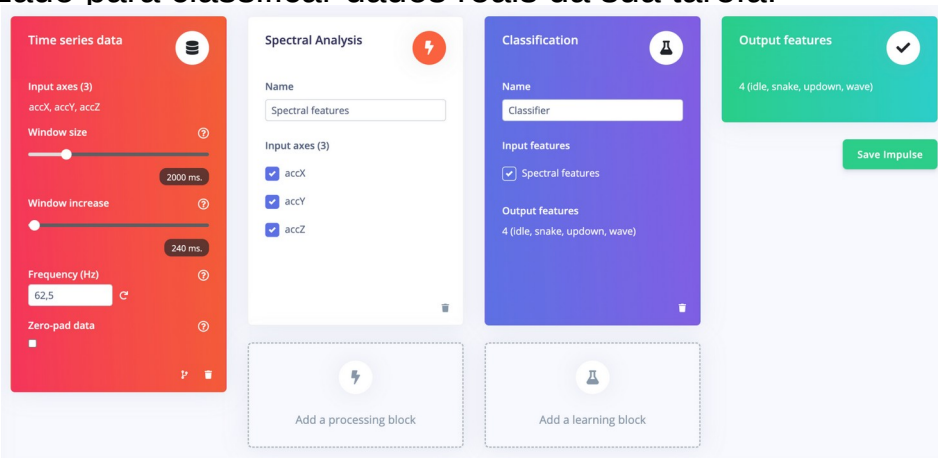
Pipeline de dados básico com um bloco de processamento e um bloco de aprendizado

Reconhecimento de movimentos contínuos

Construa o seu fluxo de dados(*pipeline*)

- No **Edge Impulse** o pipeline é chamado de **impulse** e ele:
 - recebe os dados brutos,
 - divide-os em janelas menores,
 - usa blocos de processamento de sinais para extrair características
 - usa um bloco de aprendizado para classificar dados reais da sua tarefa.

Pipeline de dados básico com
um bloco de processamento e
um bloco de aprendizado

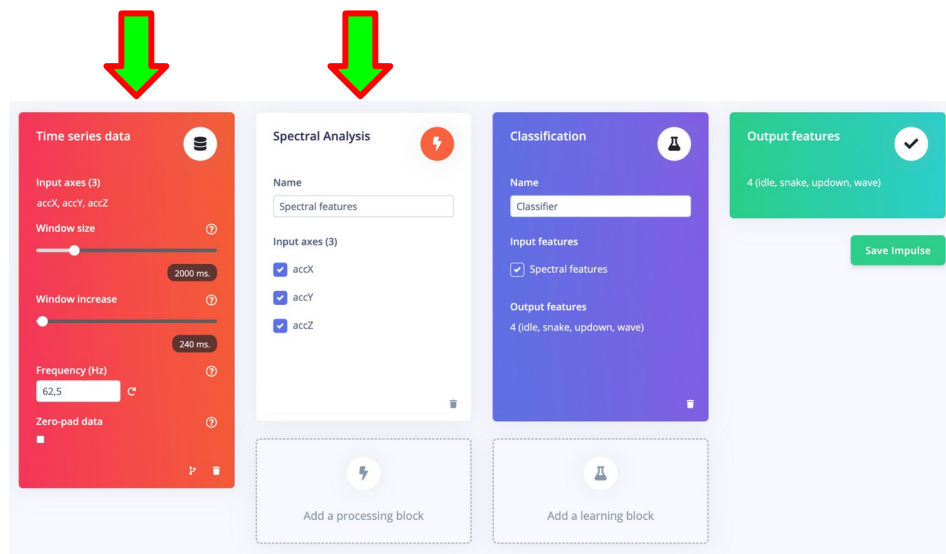


Reconhecimento de movimentos contínuos

Construa o seu fluxo de dados(*pipeline*)

- Os blocos de processamento de sinal sempre retornam os mesmos valores para a mesma entrada e são usados para facilitar o processamento de dados brutos

Pipeline de dados básico com
um bloco de processamento e
um bloco de aprendizado

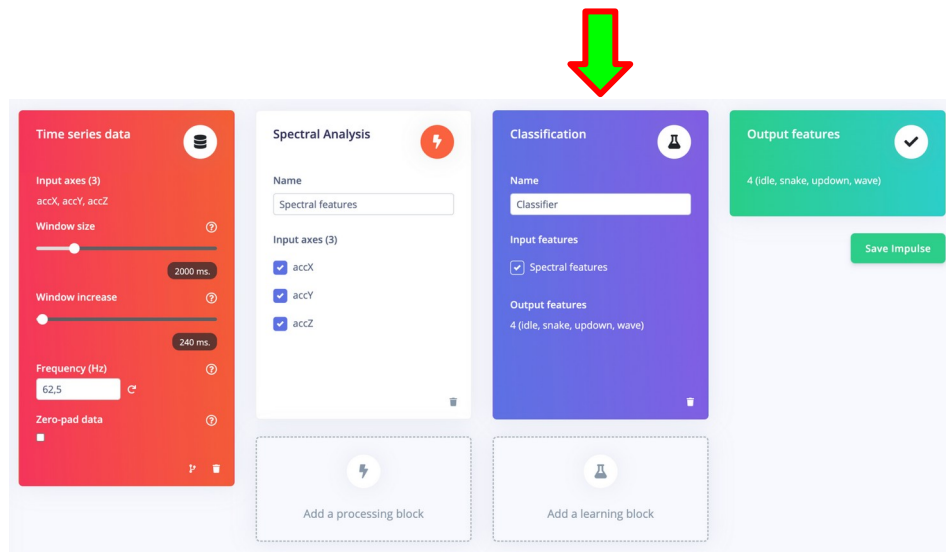


Reconhecimento de movimentos contínuos

Construa o seu fluxo de dados(*pipeline*)

- Os blocos de aprendizado aprendem com experiências anteriores.

Pipeline de dados básico com um bloco de processamento e um bloco de aprendizado



Reconhecimento de movimentos contínuos

Construa o seu fluxo de dados(*pipeline*)

- Para essa aula, usaremos o bloco de processamento de sinal ***Spectral analysis*** (Análise espectral).
- Esse bloco aplica um filtro, executa a análise espectral no sinal e extrai dados de frequência e potência espectral.

Pipeline de dados básico com
um bloco de processamento e
um bloco de aprendizado

The screenshot displays a data pipeline builder interface with four main blocks in a sequence:

- Time series data** (Red block): Contains settings for input axes (accX, accY, accZ), window size (2000 ms), window increase (240 ms), frequency (62.5 Hz), and zero-pad data.
- Spectral Analysis** (White block): Contains a name field (Spectral features), input axes (accX, accY, accZ), and a red lightning bolt icon.
- Classification** (Purple block): Contains a name field (Classifier), input features (Spectral features), and output features (4 (idle, snake, updown, wave)).
- Output features** (Green block): Contains the output features (4 (idle, snake, updown, wave)) and a 'Save Impulse' button.

At the bottom, there are two dashed boxes with buttons: 'Add a processing block' (indicated by a red arrow) and 'Add a learning block'.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Construa o seu fluxo de dados(*pipeline*)

- Em seguida, usaremos um bloco de aprendizado ***Classification***, que usa essas características espectrais e aprende a distinguir entre as quatro classes (idle, snake, wave, updown).

Pipeline de dados básico com um bloco de processamento e um bloco de aprendizado

The screenshot displays a drag-and-drop interface for building a data pipeline. It consists of four main blocks arranged horizontally:

- Time series data** (red block): Contains settings for input axes (accX, accY, accZ), window size (2000 ms), window increase (240 ms), frequency (62.5 Hz), and zero-pad data.
- Spectral Analysis** (light blue block): Contains a name field (Spectral features) and input axes (accX, accY, accZ).
- Classification** (purple block): Contains a name field (Classifier), input features (Spectral features), and output features (4 (idle, snake, updown, wave)).
- Output features** (teal block): Contains the output features (4 (idle, snake, updown, wave)) and a 'Save Impulse' button.

At the bottom, there are two buttons: 'Add a processing block' and 'Add a learning block'. A large red arrow points to the 'Add a learning block' button.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Construa o seu fluxo de dados(*pipeline*)

- Depois de incluir os blocos em **Save impulse** (Salvar impulso).

Pipeline de dados básico com um bloco de processamento e um bloco de aprendizado

The screenshot displays a drag-and-drop interface for building a machine learning pipeline. It consists of four main blocks arranged horizontally:

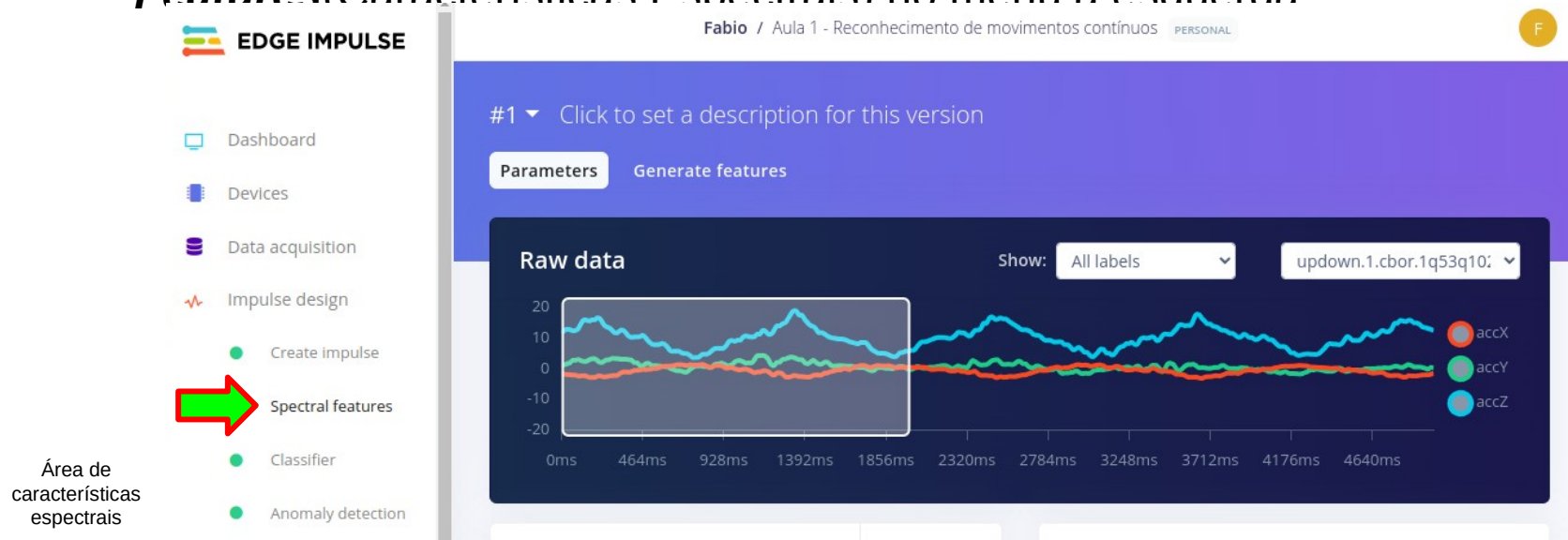
- Time series data** (red block): Includes settings for 'Input axes (3)' (accX, accY, accZ), 'Window size' (2000 ms), 'Window increase' (240 ms), 'Frequency (Hz)' (62.5), and 'Zero-pad data'.
- Spectral Analysis** (light blue block): Includes a 'Name' field (Spectral features) and 'Input axes (3)' (accX, accY, accZ).
- Classification** (purple block): Includes a 'Name' field (Classifier), 'Input features' (Spectral features), and 'Output features' (4 (idle, snake, updown, wave)).
- Output features** (teal block): Shows the final output features: 4 (idle, snake, updown, wave).

Below the 'Output features' block, there is a green button labeled 'Save Impulse' with a large green arrow pointing upwards towards it. At the bottom of the interface, there are two dashed boxes: 'Add a processing block' and 'Add a learning block'.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

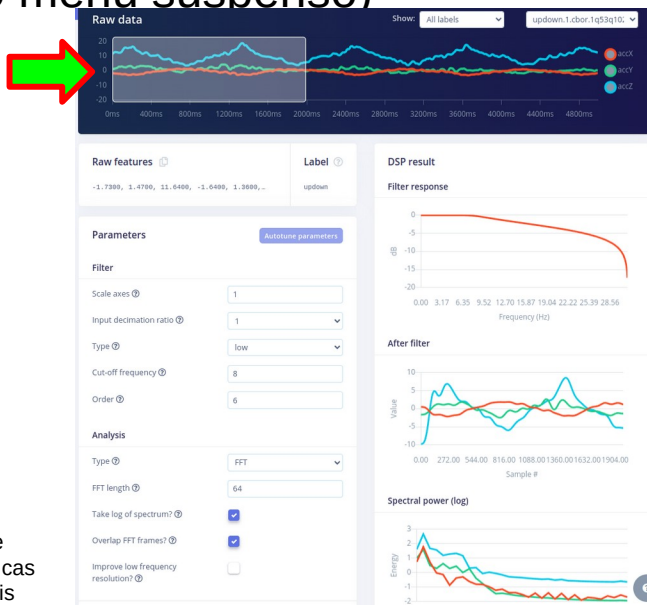
- Para configurar seu bloco de processamento de sinal, clique em **Spectral Features** (Características Espectrais) no menu à esquerda



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Os dados brutos estão na parte superior da tela (é possível selecionar outros arquivos por meio do menu suspenso)

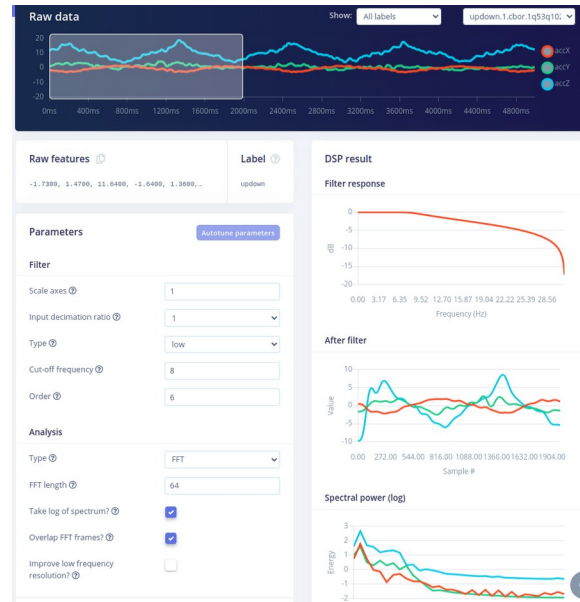


Área de
características
espectrais

Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Os gráficos dos resultados do processamento de sinal estão à direita.

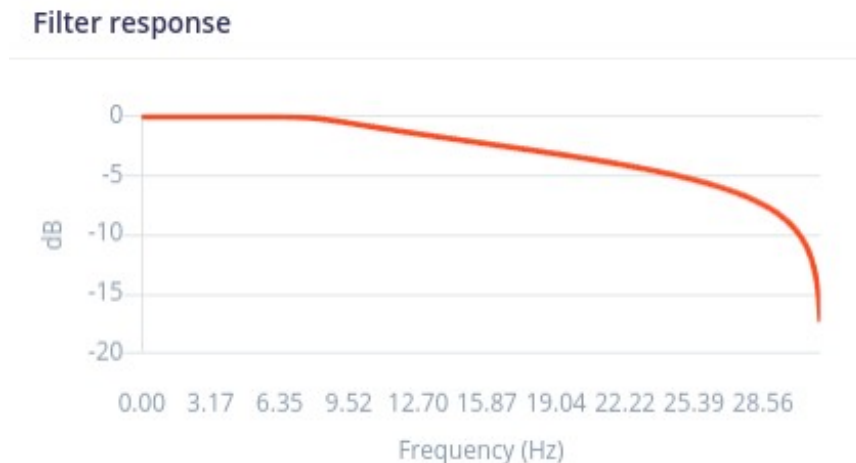


Área de
características
espectrais

Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Para o bloco de características espectrais, você verá os seguintes gráficos:
 - **Filter Response**(Resposta do filtro) - Se você tiver escolhido um filtro (com ordem diferente de zero), isso mostrará a resposta entre as frequências. Ou seja, ele mostrará o quanto cada frequência será atenuada.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Para o bloco de características espectrais, você verá os seguintes gráficos:
 - **After filter**(Após o filtro) - o sinal após a aplicação do filtro. Isso removerá o ruído.

After filter

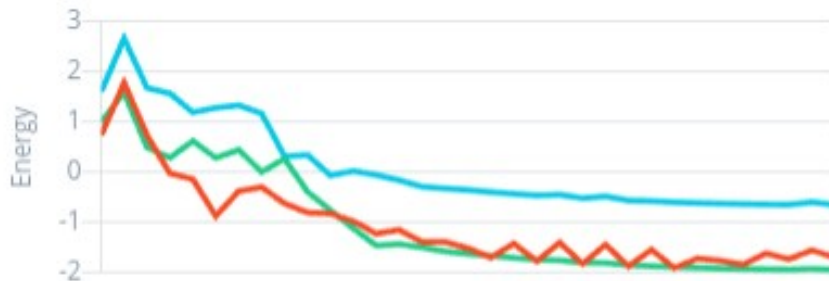


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Para o bloco de características espectrais, você verá os seguintes gráficos:
 - **Spectral power**(Potência espectral) - as frequências em que o sinal está se repetindo (por exemplo, fazer um movimento de onda por segundo mostrará um pico em 1 Hz).

Spectral power (log)



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

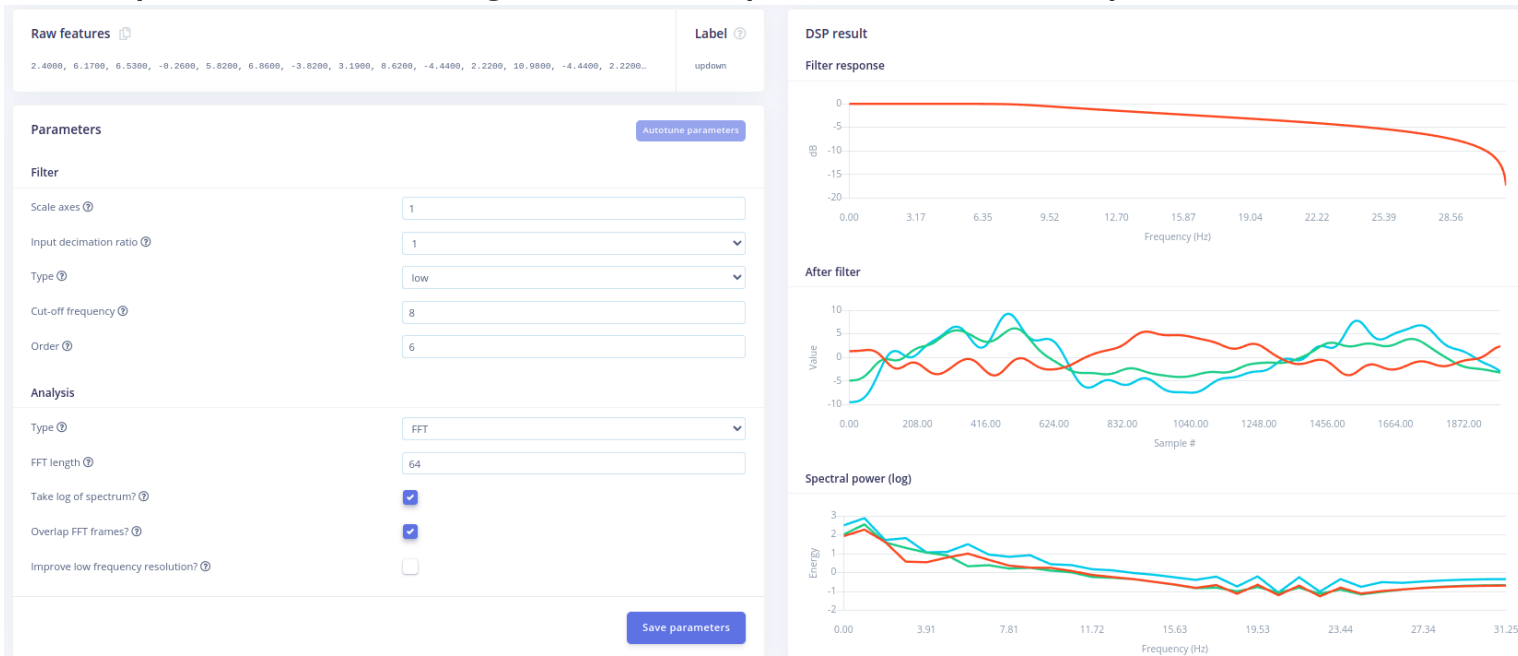
- Um bom bloco de processamento de sinal produzirá resultados semelhantes para dados semelhantes.
- Se você mover a janela deslizante (no gráfico de dados brutos), os gráficos deverão permanecer semelhantes.
- Além disso, ao alternar para outro arquivo com o mesmo rótulo, você deveria ver gráficos semelhantes, mesmo que a orientação do dispositivo seja diferente.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Utilize os parâmetros da figura abaixo para ter um filtro passa-baixa:

Parâmetros para
características
espectrais

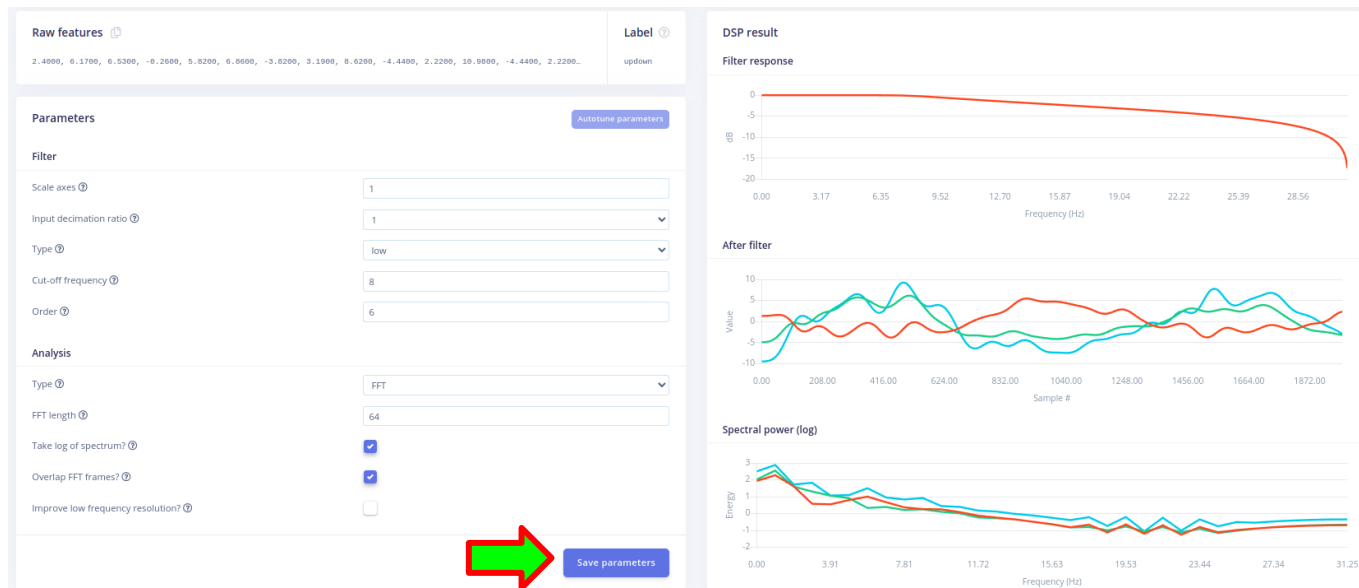


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Quando concluir a configuração de análise espectral clique em **Save parameters** (Salvar parâmetros).

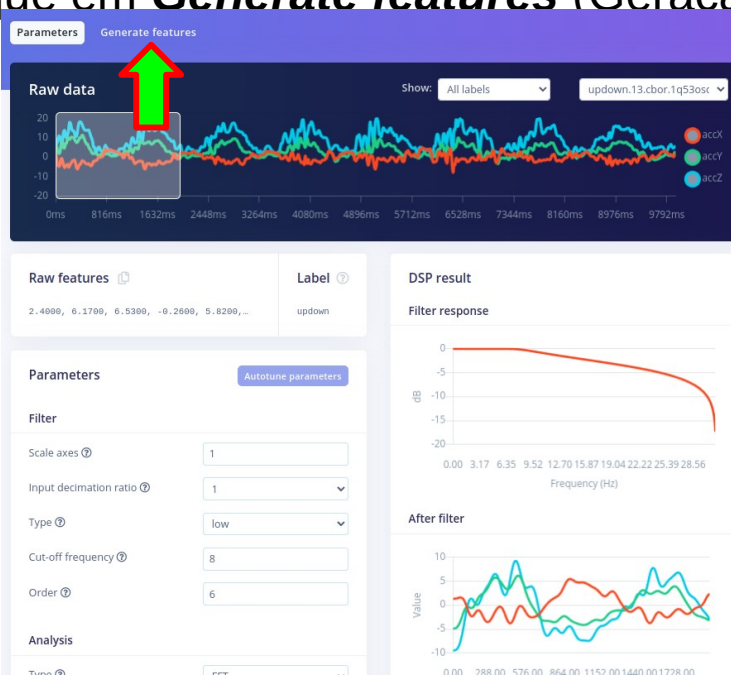
Parâmetros para
características
espectrais



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

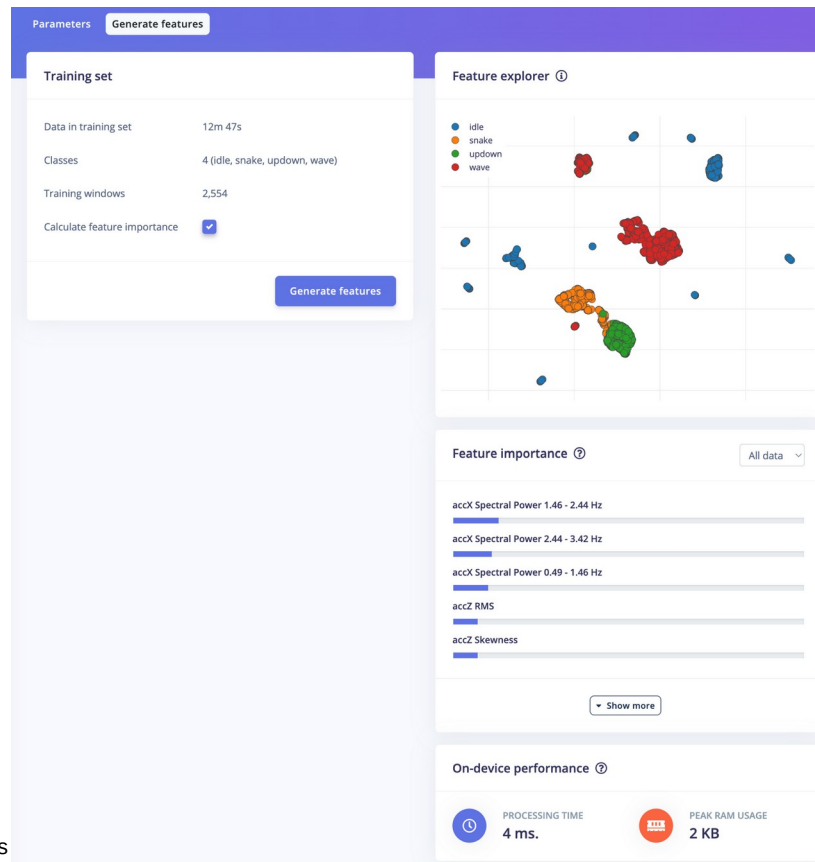
- Em seguida clique em **Generate features** (Geração de recursos).



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

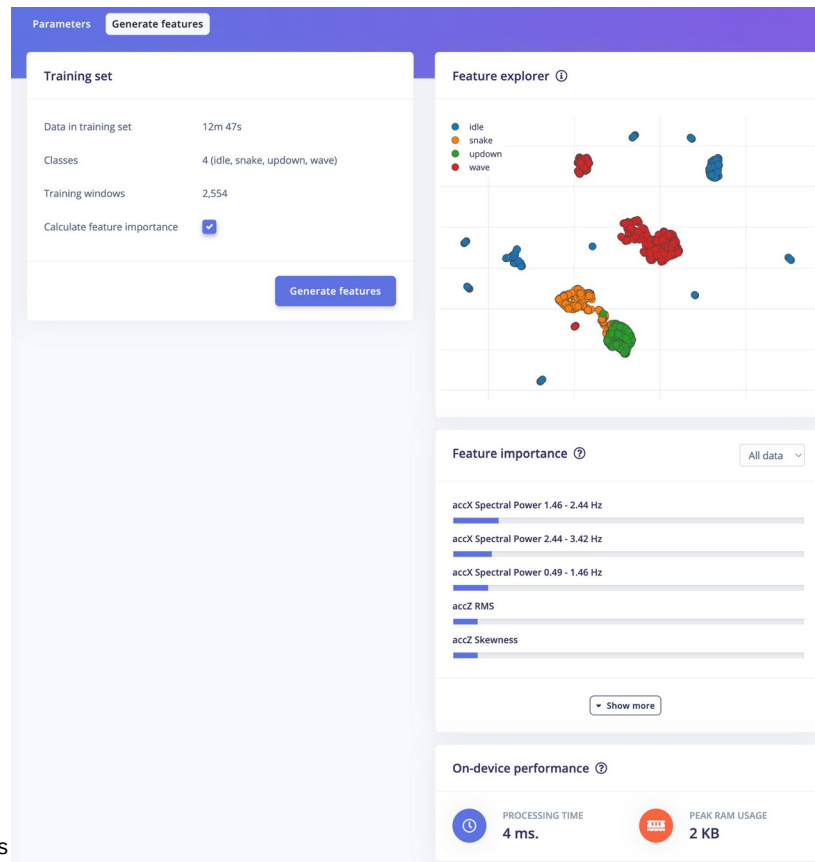
- Nessa tela, você poderá:
 - Dividir todos os dados brutos em janelas (com base no tamanho da janela e no aumento da janela).
 - Aplicar o bloco de características espectrais em todas essas janelas.
 - Calcular a importância de cada característica. Usaremos isso mais tarde para configurar a detecção de anomalias.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

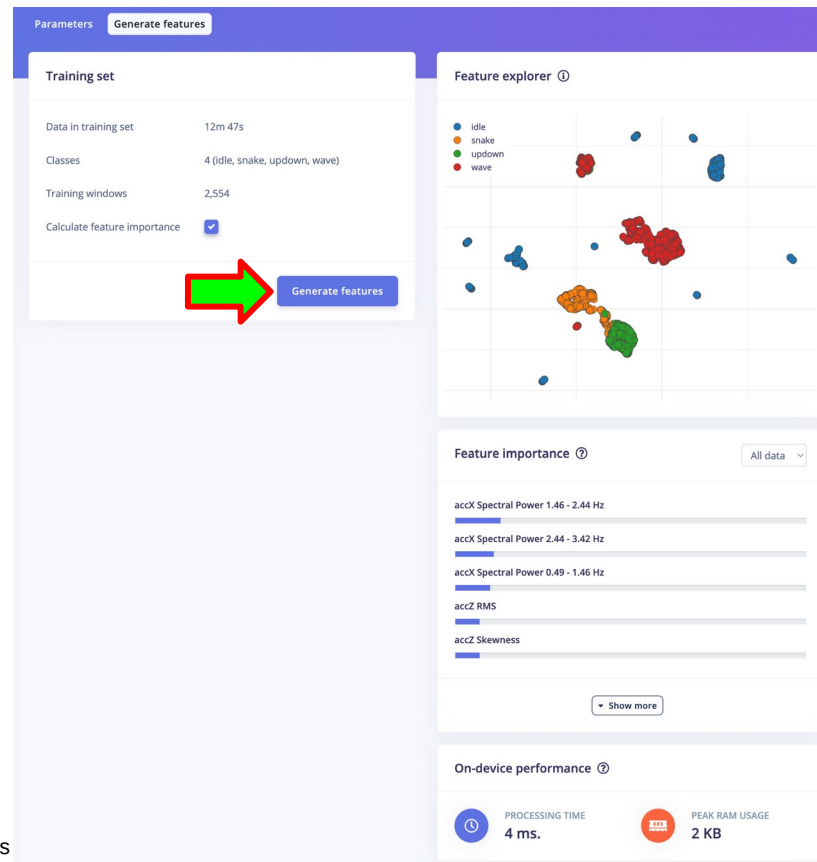
- Nessa tela, você poderá:
 - Dividir todos os dados brutos em janelas (com base no tamanho da janela e no aumento da janela).
 - Aplicar o bloco de características espectrais em todas essas janelas.
 - Calcular a importância de cada característica. Usaremos isso mais tarde para configurar a detecção de anomalias.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Clique em ***Generate features***(Gerar recursos) para iniciar o processo.

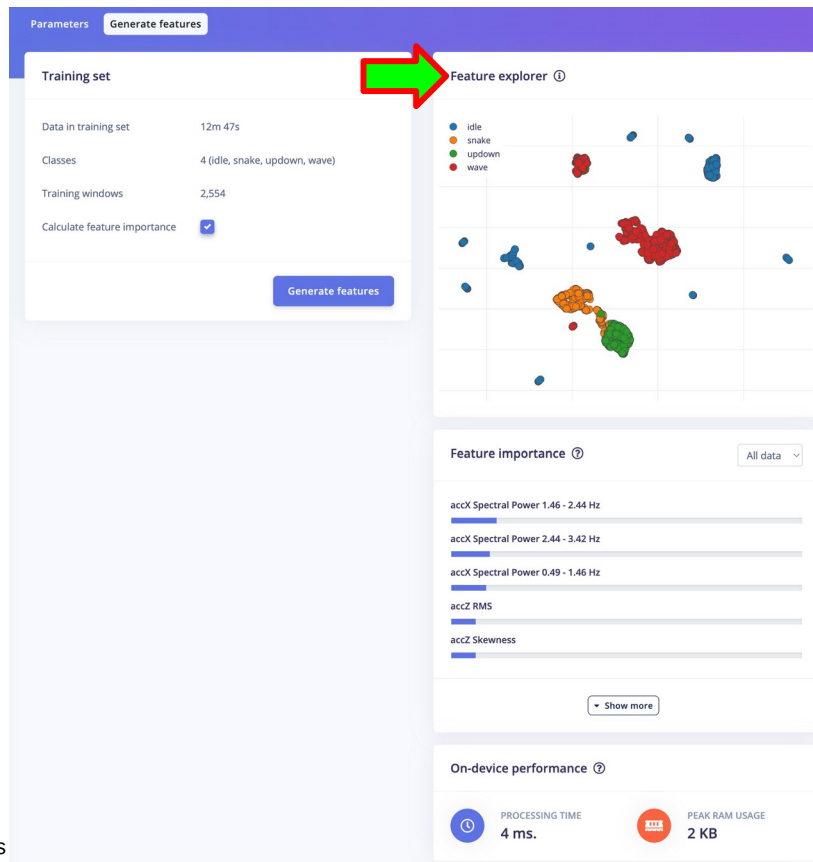


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure o bloco de análise espectral

- Em seguida, o **Feature explorer**(Explorador de características) será carregado.
- Esse é um gráfico de todas as características extraídas em relação a todas as janelas de dados geradas.
- Você pode usar esse gráfico para comparar o conjunto completo de dados.
- Uma boa regra geral é que, se você puder identificar visualmente alguns **clusters**(agrupamentos) por classes, o modelo de aprendizado de máquina também poderá fazer isso.

Geração de características

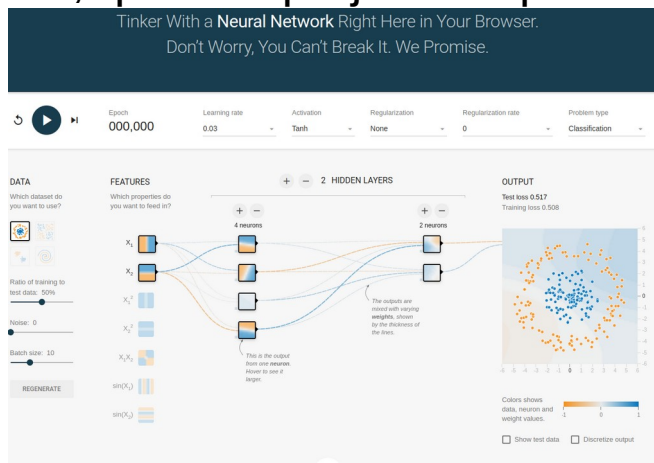


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Com todos os dados processados, é hora de começar a treinar uma rede neural.
- As redes neurais são um conjunto de algoritmos, modelados livremente com base no cérebro humano, que são projetados para reconhecer padrões.

Rede Neural

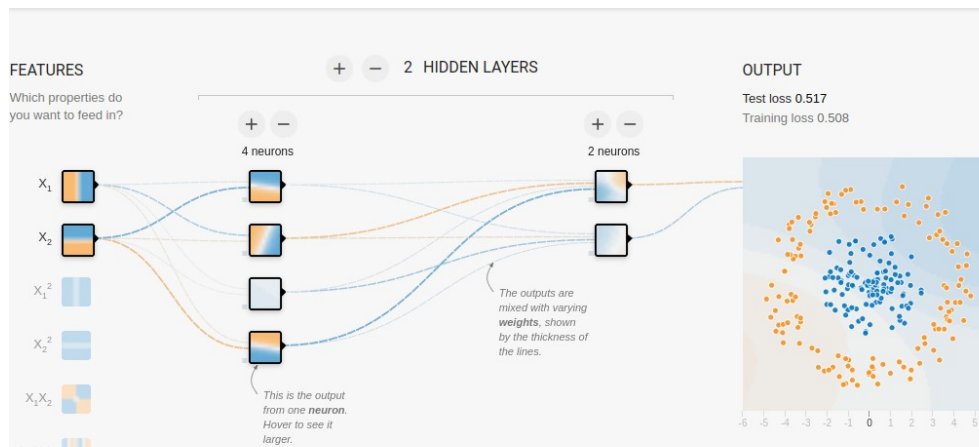


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- A rede que estamos treinando aqui tomará os dados de processamento de sinais como entrada e tentará mapeá-los para uma das quatro classes.

Rede Neural

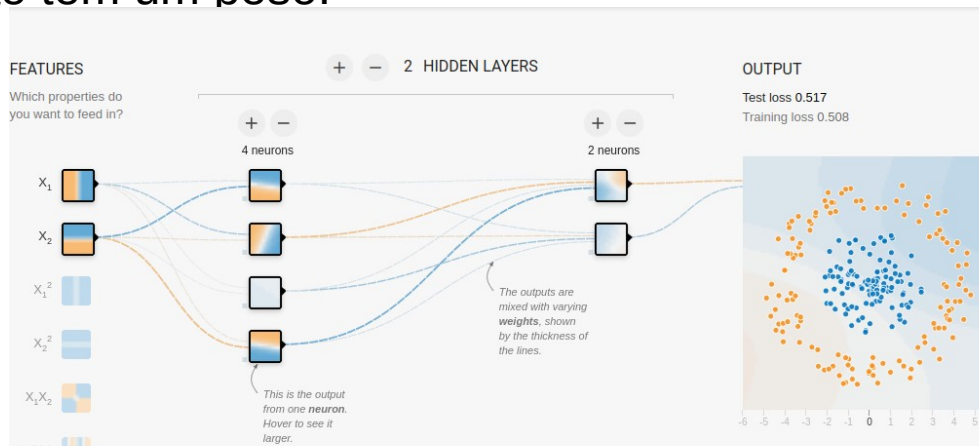


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Então, como uma rede neural sabe o que prever?
- Uma rede neural consiste em camadas de neurônios, todas interconectadas, e cada conexão tem um peso.

Rede Neural

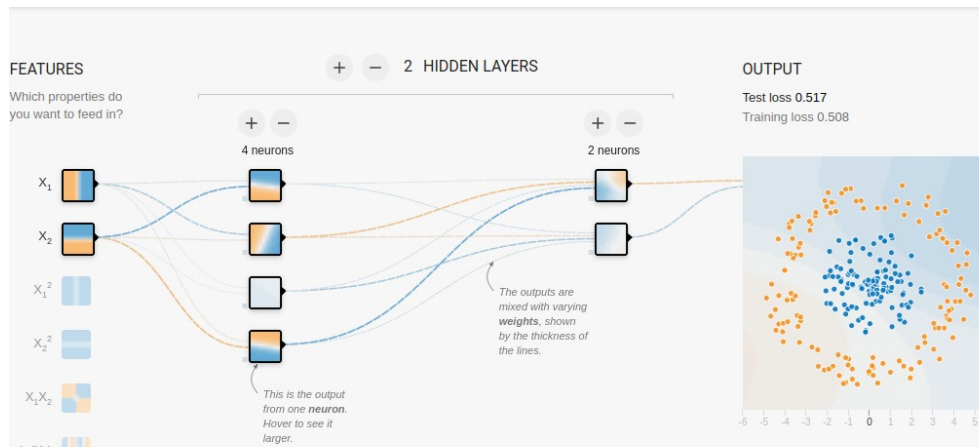


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Ao definir a rede neural, todas essas conexões são inicializadas de forma aleatória e, portanto, a rede neural fará previsões aleatórias.

Rede Neural

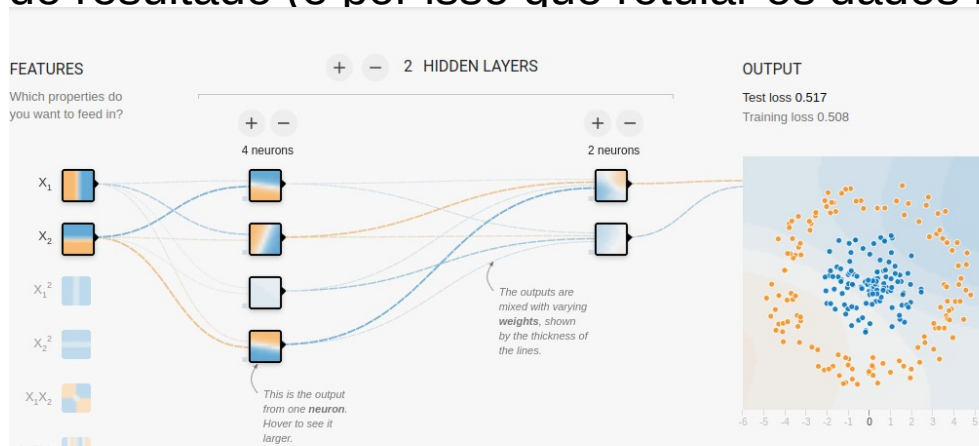


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Durante o treinamento, pegamos todos os dados brutos, pedimos à rede que faça uma previsão e, em seguida, fazemos pequenas alterações nos pesos, dependendo do resultado (é por isso que rotular os dados brutos é importante).

Rede Neural

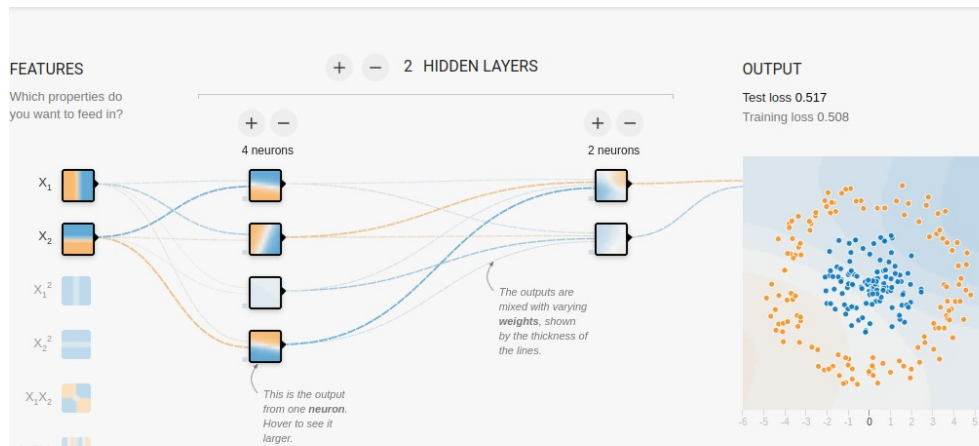


Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Dessa forma, após várias iterações, a rede neural aprende e acaba se tornando muito melhor na previsão de novos dados.

Rede Neural



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Vamos configurar o classificador:
 - Clique em ***Classifier***(Classificador)

The screenshot displays the Edge Impulse Studio interface. On the left is a sidebar menu with options: Dashboard, Devices, Data acquisition, Impulse design, EON Tuner, Retrain model, Live classification, Model testing, Versioning, and Deployment. A red arrow points to the 'Classifier' option under 'Impulse design'. Below the sidebar, there's a 'GETTING STARTED' section with links to Documentation and Forums, and a 'Try Enterprise Free' button.

The main area is titled 'Neural Network settings' and contains the following sections:

- Training settings:** Number of training cycles (30), Use learned optimizer (checkbox), Learning rate (0.0005), Training processor (CPU).
- Advanced training settings:** (Dropdown menu).
- Neural network architecture:** Input layer (39 features), Dense layer (20 neurons), Dense layer (10 neurons), Add an extra layer, Output layer (4 classes).
- Start training:** A green button to begin the training process.

On the right, the 'Training output' section shows the 'Model' version as 'Quantized (int8)'. It displays the 'Last training performance (validation set)' with an accuracy of 99.6% and a loss of 0.02. Below this is a 'Confusion matrix (validation set)' table:

	IDLE	SNAKE	UPDOWN	WAVE
IDLE	100%	0%	0%	0%
SNAKE	0%	100%	0%	0%
UPDOWN	0%	0.8%	98.3%	0.8%
WAVE	0%	0%	0%	100%
F1 SCORE	1.00	1.00	0.99	1.00

Below the confusion matrix is a 'Data explorer (full training set)' scatter plot showing data points for different classes: idle - correct (yellow), snake - correct (green), updown - correct (blue), wave - correct (red), updown - incorrect (orange), and wave - incorrect (purple). The plot shows distinct clusters for each class.

At the bottom right, there's a section for 'On-device performance'.

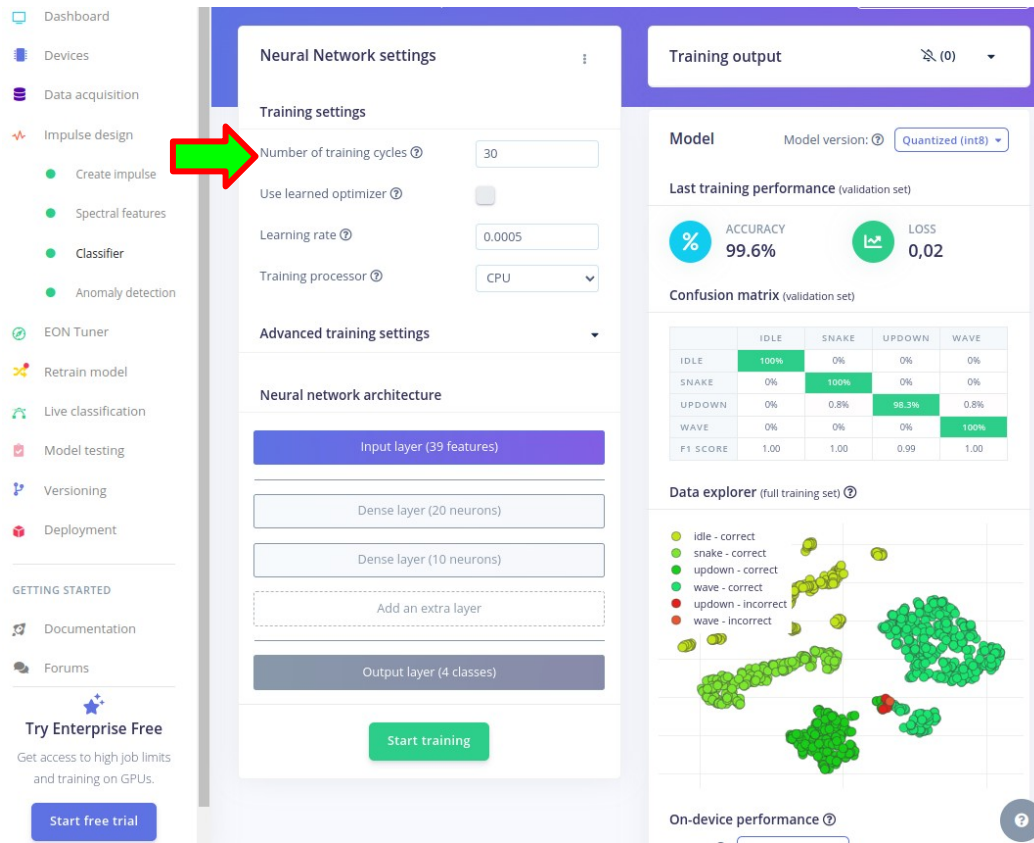
Configuração da
Rede Neural

Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Configure ***Number of training cycles***(Número de ciclos de treino) para 1.
- Isso limitará o treinamento a uma única iteração.

Configuração da
Rede Neural



The screenshot displays the EON Tuner interface for configuring a neural network. A red arrow points to the 'Number of training cycles' field, which is set to 30. The interface includes a sidebar with navigation options, a main settings panel, and a training output section.

Neural Network settings

Training settings

- Number of training cycles: 30
- Use learned optimizer: ☐
- Learning rate: 0.0005
- Training processor: CPU

Advanced training settings

Neural network architecture

- Input layer (39 features)
- Dense layer (20 neurons)
- Dense layer (10 neurons)
- Add an extra layer
- Output layer (4 classes)

Start training

Training output

Model version: Quantized (int8)

Last training performance (validation set)

- ACCURACY: 99.6%
- LOSS: 0.02

Confusion matrix (validation set)

	IDLE	SNAKE	UPDOWN	WAVE
IDLE	100%	0%	0%	0%
SNAKE	0%	100%	0%	0%
UPDOWN	0%	0.8%	98.3%	0.8%
WAVE	0%	0%	0%	100%
F1 SCORE	1.00	1.00	0.99	1.00

Data explorer (full training set)

Legend:

- Idle - correct
- snake - correct
- updown - correct
- wave - correct
- updown - incorrect
- wave - incorrect

On-device performance

Try Enterprise Free
Get access to high job limits
and training on GPUs.

Start free trial

Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Em seguida, clique em ***Start training***(Iniciar treinamento).

Configuração da
Rede Neural

The screenshot displays the EON Tuner interface for configuring a neural network. The left sidebar contains a navigation menu with options: Dashboard, Devices, Data acquisition, Impulse design, EON Tuner, Retrain model, Live classification, Model testing, Versioning, and Deployment. The main panel is titled 'Neural Network settings' and includes sections for Training settings, Advanced training settings, and Neural network architecture. The Training settings section shows: Number of training cycles (30), Use learned optimizer (disabled), Learning rate (0.0005), and Training processor (CPU). The Neural network architecture section shows: Input layer (39 features), Dense layer (20 neurons), Dense layer (10 neurons), Add an extra layer, and Output layer (4 classes). A red arrow points to the 'Start training' button. The right sidebar shows the 'Training output' section, including the Model version (Quantized (int8)), Last training performance (validation set) with Accuracy (99.6%) and Loss (0.02), and a Confusion matrix (validation set).

	IDLE	SNAKE	UPDOWN	WAVE
IDLE	100%	0%	0%	0%
SNAKE	0%	100%	0%	0%
UPDOWN	0%	0.8%	98.3%	0.8%
WAVE	0%	0%	0%	100%
F1 SCORE	1.00	1.00	0.99	1.00

The Data explorer (full training set) shows a scatter plot of data points categorized by movement and classification status: idle - correct (yellow), snake - correct (green), updown - correct (blue), wave - correct (red), updown - incorrect (orange), and wave - incorrect (purple).

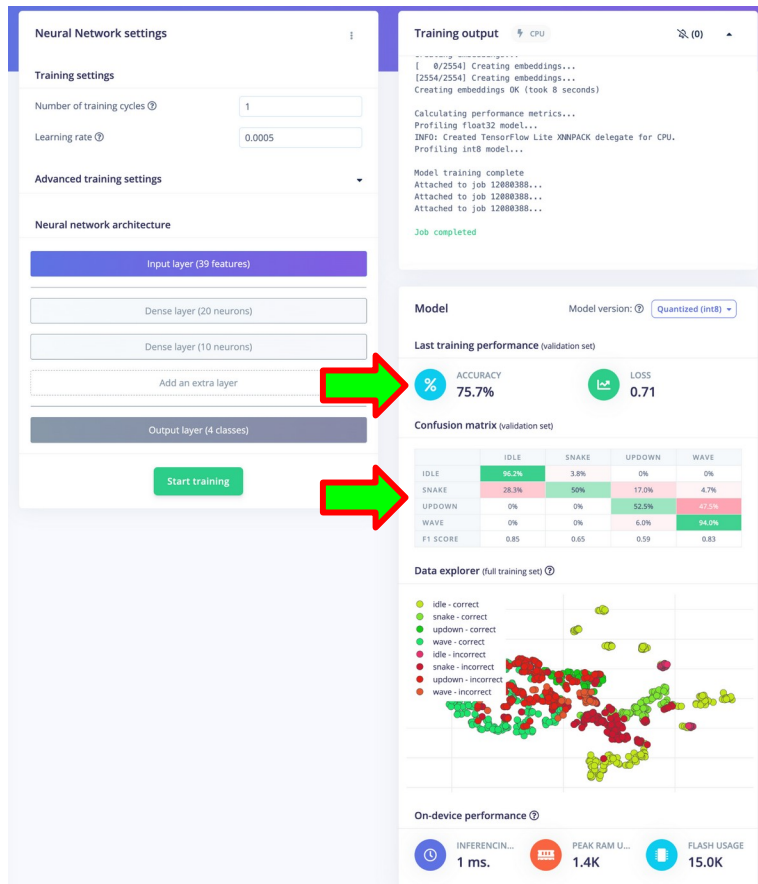
On-device performance ?

Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Desempenho do treinamento após uma única iteração:
 - No canto superior direito, há um resumo da precisão da rede e, no meio, uma matriz de confusão.
 - Essa matriz mostra quando a rede tomou decisões corretas e incorretas.
 - Você vê que a classe *idle* é relativamente fácil de prever.
 - Por que você acha que isso acontece?
- Agora, altere para 2 iterações e você verá o desempenho aumentar.

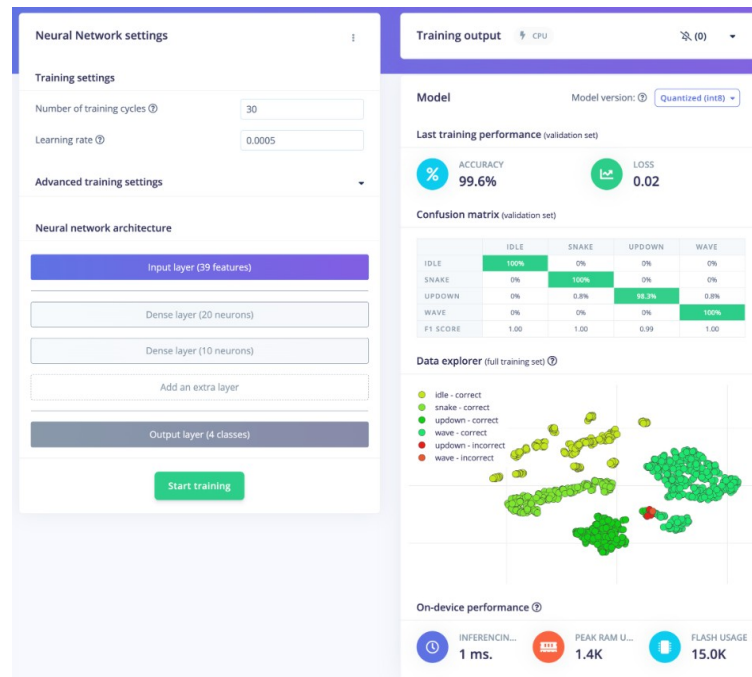
Rede Neural após 1 iteração



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- Por fim, altere ***Number of training cycles*** para 30 e deixe o treinamento terminar.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Configure a rede neural

- 100% de precisão!
 - Você pode acabar com 100% de acurácia depois de treinar por 100 ciclos de treinamento.
 - Isso não é necessariamente bom, pois pode ser um sinal de que a rede neural está sobre ajustada(**overfitting**) para o conjunto de testes específico e pode ter um desempenho ruim em novos dados.



Reconhecimento de movimentos contínuos

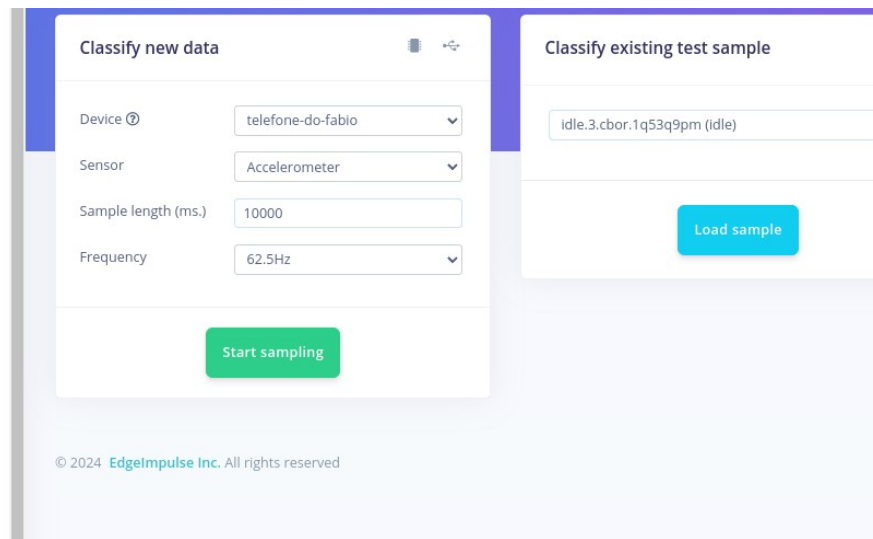
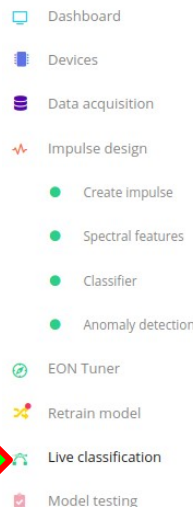
Classificando novos dados

- Com base nas estatísticas da etapa anterior, sabemos que o modelo funciona com nossos dados de treinamento, mas qual seria o desempenho da rede em novos dados?
- Clique em ***Live classification***(Classificação ao vivo) no menu para descobrir. Seu dispositivo deve (assim como na etapa 2) aparecer como on-line em “Classify new data” (Classificar novos dados). Defina o “Sample length” (Duração da amostra) como 10000 (10 segundos), clique em Start sampling (Iniciar amostragem) e comece a fazer movimentos. Depois disso, você receberá um relatório completo sobre o que a rede achou que você fez.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Classificando novos dados

- Com base nas estatísticas da etapa anterior, sabemos que o modelo funciona com nossos dados de treinamento, mas qual seria o desempenho da rede em novos dados?
- Para descobrir, clique em **Live classification** (Classificação ao vivo) no menu.

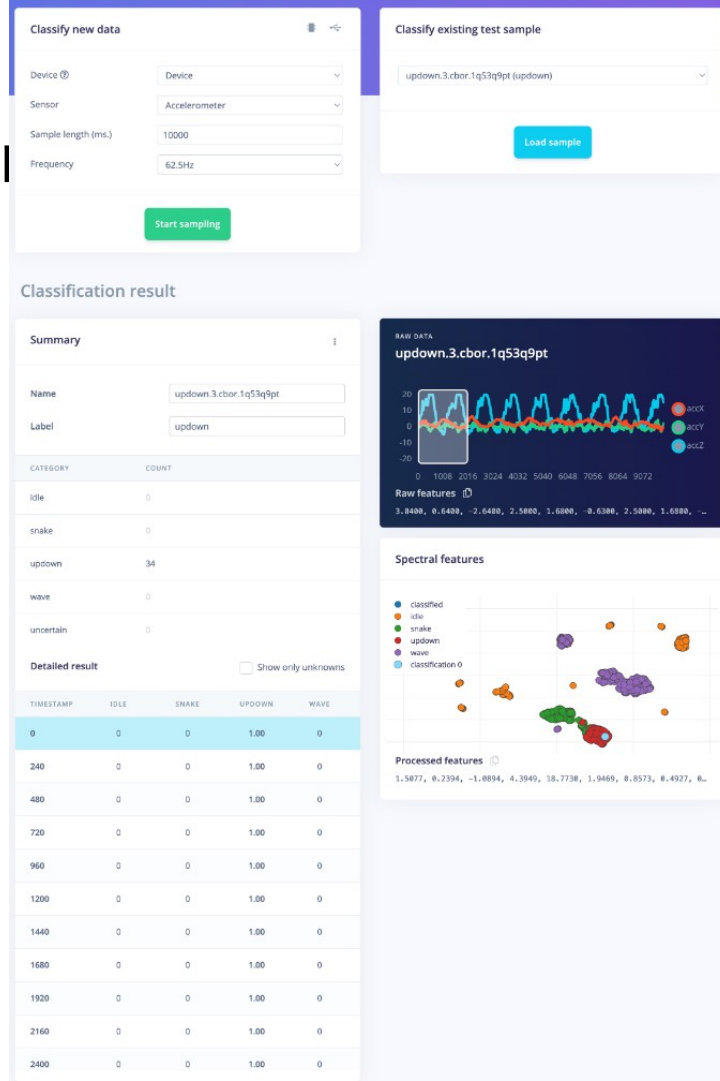


Classificação ao vivo

Reconhecimento de movimentos com

Classificando novos dados

- Resultado da classificação.
- Exibição das conclusões, dados brutos e as características processadas em uma visão geral.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- As redes neurais são ótimas, mas têm uma grande falha.
- Elas são péssimas para lidar com dados que nunca viram antes (como um novo gesto).
- As redes neurais não podem julgar isso, pois só conhecem os dados de treinamento. Se você der a ela algo diferente de tudo o que ela já viu antes, ela ainda assim classifica como uma das quatro classes.

Reconhecimento de movimentos contínuos

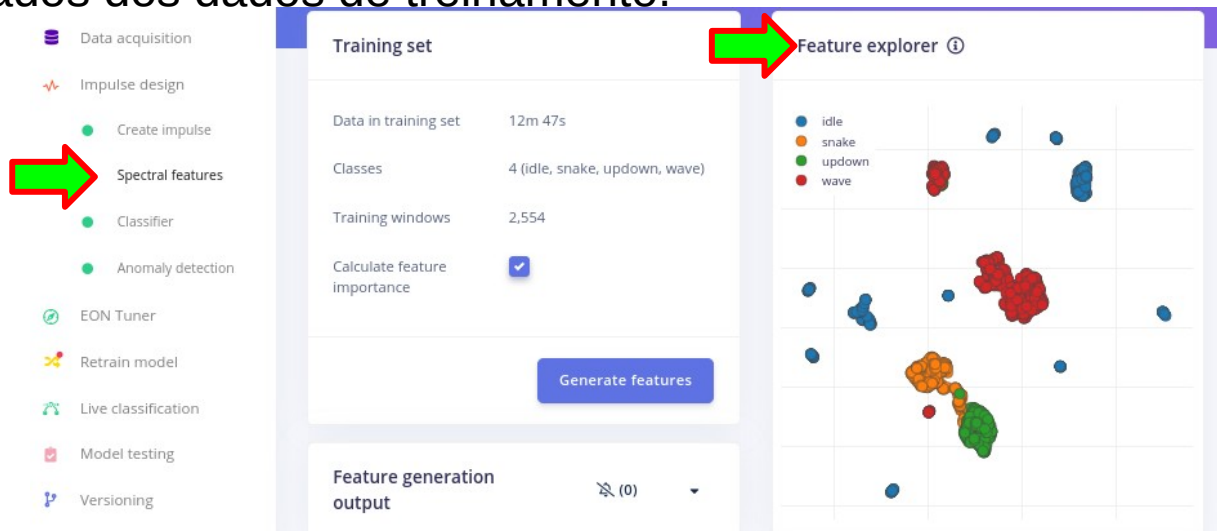
Detecção de Anomalias

- Vamos ver como isso funciona na prática?
- Vá para ***Live classification*** e registre alguns dados novos, mas agora agite o dispositivo de forma aleatória.
- Dê uma olhada em como a rede se saiu.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- Então, como podemos fazer melhor?
- Se você observar o **Feature Explorer**, será capaz de separar os dados classificados dos dados de treinamento.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- Podemos usar isso a nosso favor treinando uma nova (segunda) rede que cria *clusters* em torno de dados que já vimos antes e compara os dados recebidos com esses *clusters*.
- Se a distância de um *cluster* for muito grande, você poderá sinalizar a amostra como uma anomalia e não confiar na rede neural.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- Para adicionar esse bloco, vá para **Create Impulse**(Criar impulso), clique em **Add learning block**(Adicionar bloco de aprendizado) e selecione **Anomaly Detection (K-Means)**. Em seguida, clique em **Save impulse**

The screenshot displays the 'Create Impulse' workflow in the Trivy Enterprise Free interface. The left sidebar shows the navigation menu with 'Create Impulse' highlighted. The main workspace contains four blocks: 'Time series data' (red), 'Spectral Analysis' (white), 'Classification' (blue), and 'Anomaly Detection (K-means)' (purple). The 'Time series data' block is configured with 'Input axes (3)' as 'accX, accY, accZ', 'Window size' as '2,000 ms', 'Window increase' as '240 ms', and 'Frequency (Hz)' as '62,5'. The 'Spectral Analysis' block is named 'Spectral features' and has 'accX', 'accY', and 'accZ' as input axes. The 'Classification' block is named 'Classifier' and has 'Spectral features' as input features and '4 (idle, snake, updown, wave)' as output features. The 'Anomaly Detection (K-means)' block is named 'Anomaly detection' and has 'Spectral features' as input features and '1 (Anomaly score)' as output features. A 'Save Impulse' button is visible at the bottom right. A red arrow points to the 'Create Impulse' button in the sidebar, and another red arrow points to the 'Save Impulse' button.

Dashboard

Devices

Data acquisition

Impulse design

Create Impulse

Spectral features

Classifier

Anomaly detection

EON Tuner

Retrain model

Live classification

Model testing

Versioning

Deployment

GETTING STARTED

Documentation

Forums

Trivy Enterprise Free

Time series data

Input axes (3)
accX, accY, accZ

Window size
2,000 ms

Window increase
240 ms

Frequency (Hz)
62,5

Zero-pad data

Spectral Analysis

Name
Spectral features

Input axes (3)
☒ accX
☒ accY
☒ accZ

Classification

Name
Classifier

Input features
☒ Spectral features

Output features
4 (idle, snake, updown, wave)

Anomaly Detection (K-means)

Name
Anomaly detection

Input features
☒ Spectral features

Output features
1 (Anomaly score)

Output features

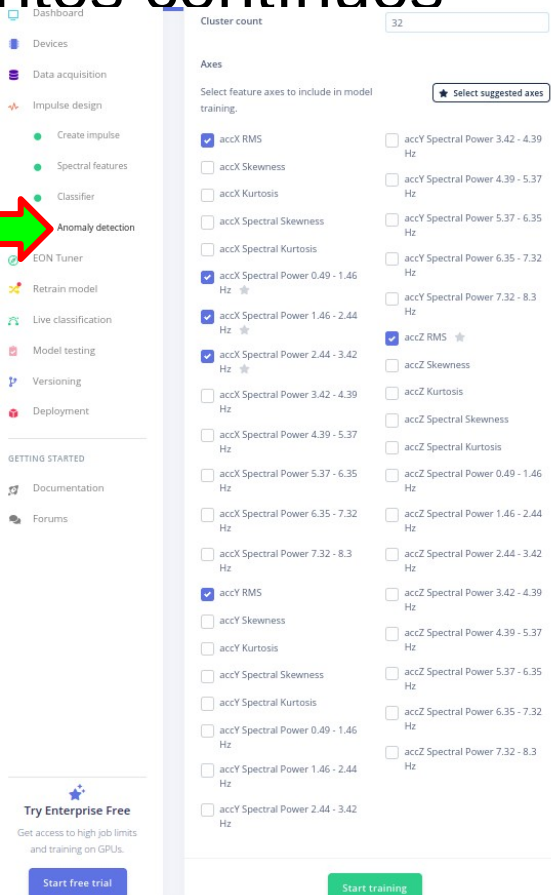
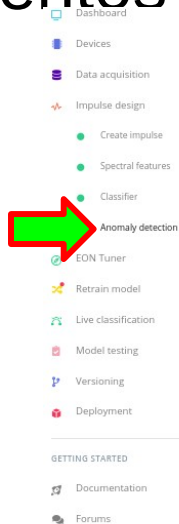
5 (idle, snake, updown, wave, Anomaly score)

Save Impulse

Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- Para configurar o modelo de **clustering**(agrupamento), clique em **Anomaly detection** (Detecção de anomalias) no menu.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- Aqui precisamos especificar:
 - O número de clusters.
 - Neste caso, use 32.

The image shows two side-by-side screenshots from a software interface. The left screenshot is the 'EON Tuner' dashboard, featuring a sidebar with navigation options like 'Dashboard', 'Devices', 'Data acquisition', 'Impulse design', 'EON Tuner', 'Retrain model', 'Live classification', 'Model testing', 'Versioning', and 'Deployment'. The main area is titled 'Cluster count' and shows a value of 32, with a red arrow pointing to it. Below this is a section 'Axes' with a list of features to include in the model training. The features are organized into two columns. The first column includes: ☒ accX RMS, ☐ accX Skewness, ☐ accX Kurtosis, ☐ accX Spectral Skewness, ☐ accX Spectral Kurtosis, ☒ accX Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz, ☒ accX Spectral Power 1.46 - 2.44 Hz, ☒ accX Spectral Power 2.44 - 3.42 Hz, ☐ accX Spectral Power 3.42 - 4.39 Hz, ☐ accX Spectral Power 4.39 - 5.37 Hz, ☐ accX Spectral Power 5.37 - 6.35 Hz, ☐ accX Spectral Power 6.35 - 7.32 Hz, ☐ accX Spectral Power 7.32 - 8.3 Hz, ☒ accY RMS, ☐ accY Skewness, ☐ accY Kurtosis, ☐ accY Spectral Skewness, ☐ accY Spectral Kurtosis, ☐ accY Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz, ☐ accY Spectral Power 1.46 - 2.44 Hz, ☐ accY Spectral Power 2.44 - 3.42 Hz. The second column includes: ☐ accY Spectral Power 3.42 - 4.39 Hz, ☐ accY Spectral Power 4.39 - 5.37 Hz, ☐ accY Spectral Power 5.37 - 6.35 Hz, ☐ accY Spectral Power 6.35 - 7.32 Hz, ☐ accY Spectral Power 7.32 - 8.3 Hz, ☒ accZ RMS, ☐ accZ Skewness, ☐ accZ Kurtosis, ☐ accZ Spectral Skewness, ☐ accZ Spectral Kurtosis, ☐ accZ Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz, ☐ accZ Spectral Power 1.46 - 2.44 Hz, ☐ accZ Spectral Power 2.44 - 3.42 Hz, ☐ accZ Spectral Power 3.42 - 4.39 Hz, ☐ accZ Spectral Power 4.39 - 5.37 Hz, ☐ accZ Spectral Power 5.37 - 6.35 Hz, ☐ accZ Spectral Power 6.35 - 7.32 Hz, ☐ accZ Spectral Power 7.32 - 8.3 Hz. At the bottom of the left screenshot is a 'Try Enterprise Free' button. The right screenshot is the 'Anomaly explorer (2.554 samples)' window. It shows a scatter plot with 'accX RMS' on the X Axis and 'accY RMS' on the Y Axis. The plot displays training data points (blue dots) and test data points (red dots). A red arrow points to a cluster of test data points that is an outlier from the main training data clusters.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- Aqui precisamos especificar:
 - Os eixos que queremos selecionar durante o agrupamento:
 - Clique no botão **Select suggested axes** (Selecionar eixos sugeridos) para aproveitar o cálculo de importância de características automático.
 - Como alternativa, você pode usar também os eixos accX RMS, accY RMS e accZ RMS pois os dados se separam bem nesses eixos.

The screenshot displays the MLflow interface for model training and anomaly detection. On the left, a sidebar lists various components: Dashboard, Devices, Data acquisition, Impulse design, Create impulse, Spectral features, Classifier, Anomaly detection, EON Tuner, Retrain model, Live classification, Model testing, Versioning, Deployment, GETTING STARTED, Documentation, and Forums. The main panel shows the 'Cluster count' as 32. Under the 'Axes' section, a list of features is provided with checkboxes. A red arrow points to the 'Select suggested axes' button. The selected features include accX RMS, accY Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz, accX Spectral Power 1.46 - 2.44 Hz, accY Spectral Power 2.44 - 3.42 Hz, accX Spectral Power 3.42 - 4.39 Hz, accY Spectral Power 4.39 - 5.37 Hz, accX Spectral Power 5.37 - 6.35 Hz, accY Spectral Power 6.35 - 7.32 Hz, accX Spectral Power 7.32 - 8.3 Hz, accY RMS, accY Skewness, accY Kurtosis, accY Spectral Skewness, accY Spectral Kurtosis, accY Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz, accY Spectral Power 1.46 - 2.44 Hz, and accY Spectral Power 2.44 - 3.42 Hz. On the right, the 'Anomaly explorer (2,554 samples)' panel shows a scatter plot of training data points. The X Axis is 'accX RMS' and the Y Axis is 'accY RMS'. A red arrow points to the 'Test data' dropdown menu, which is currently set to 'No test data'.

Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- Clique em **Start Training** para gerar os *clusters*.
- Você também pode carregar amostras de validação existentes no explorador de anomalias usando o menu suspenso.

The screenshot displays the EON software interface. On the left is a sidebar menu with options: Dashboard, Devices, Data acquisition, Impulse design, Create impulse, Spectral features, Classifier, Anomaly detection, EON Tuner, Retrain model, Live classification, Model testing, Versioning, and Deployment. Below this is a 'GETTING STARTED' section with links to Documentation and Forums. At the bottom left is a 'Try Enterprise Free' banner. The main area is divided into two panels. The left panel, titled 'Cluster count' (32), shows a list of features to include in training, with 'accX RMS' and 'accY Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz' selected. The right panel, titled 'Anomaly explorer (2,554 samples)', shows a scatter plot of 'accX RMS' vs 'accY RMS' with training data points and clusters. A large green arrow points to the 'Start training' button at the bottom right.

Cluster count: 32

Axes

Select feature axes to include in model training. [★ Select suggested axes](#)

<input checked="" type="checkbox"/> accX RMS	<input type="checkbox"/> accY Spectral Power 3.42 - 4.39 Hz
<input type="checkbox"/> accX Skewness	<input type="checkbox"/> accY Spectral Power 4.39 - 5.37 Hz
<input type="checkbox"/> accX Kurtosis	<input type="checkbox"/> accY Spectral Power 5.37 - 6.35 Hz
<input type="checkbox"/> accX Spectral Skewness	<input type="checkbox"/> accY Spectral Power 6.35 - 7.32 Hz
<input type="checkbox"/> accX Spectral Kurtosis	<input type="checkbox"/> accY Spectral Power 7.32 - 8.3 Hz
<input checked="" type="checkbox"/> accX Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz	<input checked="" type="checkbox"/> accZ RMS
<input checked="" type="checkbox"/> accX Spectral Power 1.46 - 2.44 Hz	<input type="checkbox"/> accZ Skewness
<input checked="" type="checkbox"/> accX Spectral Power 2.44 - 3.42 Hz	<input type="checkbox"/> accZ Kurtosis
<input type="checkbox"/> accX Spectral Power 3.42 - 4.39 Hz	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Skewness
<input type="checkbox"/> accX Spectral Power 4.39 - 5.37 Hz	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Kurtosis
<input type="checkbox"/> accX Spectral Power 5.37 - 6.35 Hz	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz
<input type="checkbox"/> accX Spectral Power 6.35 - 7.32 Hz	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Power 1.46 - 2.44 Hz
<input type="checkbox"/> accX Spectral Power 7.32 - 8.3 Hz	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Power 2.44 - 3.42 Hz
<input checked="" type="checkbox"/> accY RMS	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Power 3.42 - 4.39 Hz
<input type="checkbox"/> accY Skewness	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Power 4.39 - 5.37 Hz
<input type="checkbox"/> accY Kurtosis	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Power 5.37 - 6.35 Hz
<input type="checkbox"/> accY Spectral Skewness	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Power 6.35 - 7.32 Hz
<input type="checkbox"/> accY Spectral Kurtosis	<input type="checkbox"/> accZ Spectral Power 7.32 - 8.3 Hz
<input type="checkbox"/> accY Spectral Power 0.49 - 1.46 Hz	
<input type="checkbox"/> accY Spectral Power 1.46 - 2.44 Hz	
<input type="checkbox"/> accY Spectral Power 2.44 - 3.42 Hz	

GETTING STARTED

[Documentation](#)

[Forums](#)

Try Enterprise Free
Get access to high job limits and training on GPUs.

[Start free trial](#)

[Start training](#)

Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

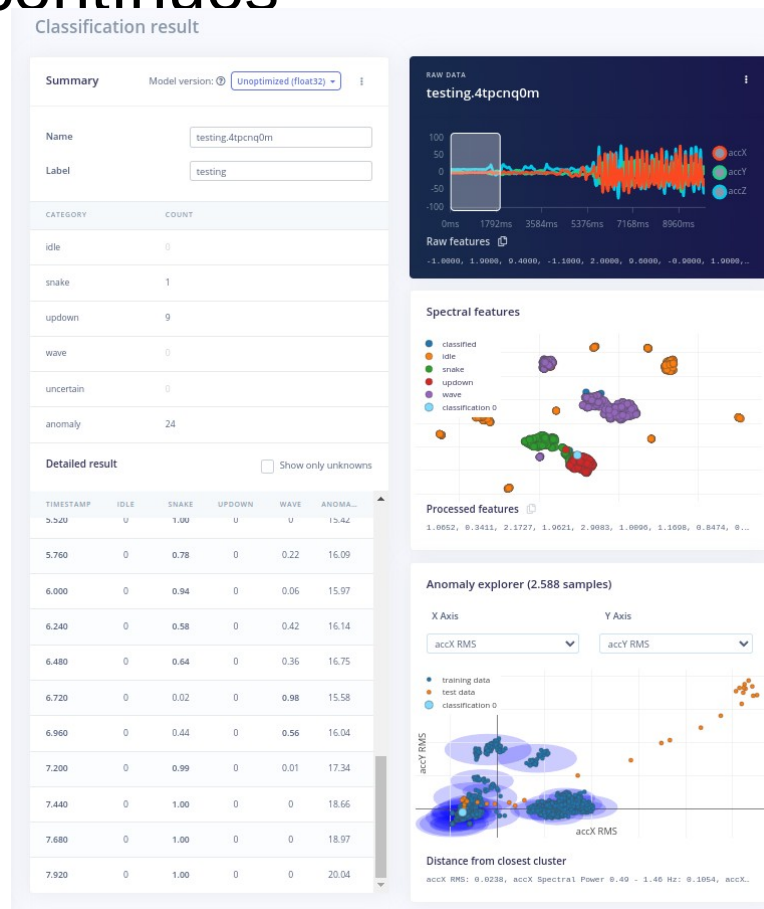
- *Clusters* conhecidos ficam em azul, e os dados aleatórios em laranja.
- Os dados aleatórios estão claramente fora de qualquer agrupamento conhecido e, portanto, pode ser marcado como uma anomalia.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Detecção de Anomalias

- Experimente algumas **Live classification** e observe os resultados.



Reconhecimento de movimentos contínuos

Conclusões

- o objetivo da aula de hoje foi demonstrar com um exemplo prático que:
 - o processamento digital de sinais (para extrair características)
 - as redes neurais (para classificação) e
 - os algoritmos de I (para detecção de anomalias) podem trabalhar juntos.