



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENG. DE CONTROLE, AUTOMAÇÃO E COMPUTAÇÃO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Cláudio Lourenço Moreira

**Título do trabalho:** subtítulo (se houver)

Cláudio Lourenço Moreira

**Título do trabalho:** subtítulo (se houver)

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Maiquel de Brito

Blumenau

2025

#### Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Cláudio Lourenço Moreira

**Título do trabalho:** subtítulo (se houver)

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro de Controle e Automação” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Blumenau, dia de mês de 2025.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Maiquel de Brito  
Instituição xxxx

---

Prof. Segundo, Dr.  
Instituição xxxx

---

Prof. Terceiro, Dr.  
Instituição xxxx

Este trabalho é dedicado a todos que me ajudaram,  
orientaram e contribuíram para a minha graduação, em  
especial meus pais, amigos e professores.

## **AGRADECIMENTOS**

Inserir os agradecimentos aos colaboradores à execução do trabalho.

Texto da Epígrafe. Citação relativa ao tema do trabalho. É opcional. A epígrafe pode também aparecer na abertura de cada seção ou capítulo. Deve ser elaborada de acordo com a NBR 10520. (SOBRENOME do autor da epígrafe, ano)

## RESUMO

No resumo são ressaltados o objetivo da pesquisa, o método utilizado, as discussões e os resultados com destaque apenas para os pontos principais. O resumo deve ser significativo, composto de uma sequência de frases concisas, afirmativas, e não de uma enumeração de tópicos. Não deve conter citações. Deve usar o verbo na voz ativa e na terceira pessoa do singular. O texto do resumo deve ser digitado, em um único bloco, sem espaço de parágrafo. O espaçamento entre linhas é simples e o tamanho da fonte é 12. Abaixo do resumo, informar as palavras-chave (palavras ou expressões significativas retiradas do texto) ou, termos retirados de thesaurus da área. Deve conter de 150 a 500 palavras. O resumo é elaborado de acordo com a NBR 6028.

**Palavras-chave:** palavra-chave 1; palavra-chave 2; palavra-chave 3.



## ABSTRACT

Resumo traduzido para outros idiomas, neste caso, inglês. Segue o formato do resumo feito na língua vernácula. As palavras-chave traduzidas, versão em língua estrangeira, são colocadas abaixo do texto precedidas pela expressão “Keywords”, separadas por ponto e vírgula.

**Keywords:** keyword 1; keyword 2; keyword 3.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre o índice de felicidade e expectativa de vida. . . . .	18
Figura 2 – Diferentes correlações entre variáveis. . . . .	19
Figura 3 – Interpretação de uma regressão linear . . . . .	21
Figura 4 – Situações de inadequação da RLS . . . . .	22
Figura 5 – Passo 1 da regressão linear pelo método MQO. . . . .	25
Figura 6 – Passo 2 da regressão linear pelo método MQO. . . . .	26
Figura 7 – Passo 3 da regressão linear pelo método MQO. . . . .	27
Figura 8 – Iterações da aplicação do método MQO . . . . .	28
Figura 9 – Passo 10 da regressão linear pelo método MQO. . . . .	29
Figura 10 – Passos para preparação dos dados. . . . .	30
Figura 11 – Dados meteorológicos. . . . .	31
Figura 12 – Dados meteorológicos. . . . .	32
Figura 13 – Limpeza dos dados coletados. . . . .	32
Figura 14 – Gráfico de Temperatura do orvalho Máx. na Hora Anterior (°C) não tratado. . . . .	33
Figura 15 – Gráfico de Temperatura do orvalho Máx. na Hora Anterior (°C) tratado. . . . .	33

## LISTA DE QUADROS

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de Valores Ordenados: Variável Independente vs. Variável Dependente . . . . .	24
Tabela 2 – Tabela de tipos de dados da base de informações meteorológicas. . . .	31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

## LISTA DE SÍMBOLOS

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS . . . . .	15
1.1.1	Objetivo Geral . . . . .	15
1.1.2	Objetivos Específicos . . . . .	15
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>16</b>
2.1	AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS CATÁSTROFES NATURAIS .	16
2.1.1	Cenário de enchentes no sul do Brasil . . . . .	16
2.1.2	Dinâmica do Rio Guaíba . . . . .	16
2.2	APRENDIZADO DE MÁQUINA . . . . .	17
2.2.1	Categorias de aprendizado de máquina . . . . .	17
2.3	REGRESSÃO . . . . .	18
2.4	REGRESSÃO LINEAR . . . . .	19
2.5	MÉTODO DOS QUADRADOS ORDINÁRIOS . . . . .	22
<b>3</b>	<b>PREPARAÇÃO DOS DADOS PARA O TREINAMENTO . .</b>	<b>30</b>
3.1	COLETA DE DADOS . . . . .	30
3.2	PRÉ PROCESSAMENTO DOS DADOS . . . . .	30
3.3	LIMPEZA DOS DADOS . . . . .	32
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>36</b>
	<b>APÊNDICE A – Descrição . . . . .</b>	<b>38</b>
	<b>ANEXO A – Descrição . . . . .</b>	<b>39</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 OBJETIVOS**

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Descrição...

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Descrição...



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Explicar brevemente o que será tratado como fundamentação teórica para o entendimento do contexto em que o modelo de aprendizagem de máquina será aplicado.

### 2.1 AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS CATÁSTROFES NATURAIS

As grandes cidades brasileiras enfrentam desafios mais frequentes relacionados às mudanças climáticas, que agravam problemas como enchentes, inundações e deslizamentos. Projeções indicam que, até 2030, a mancha urbana de São Paulo pode aumentar em até 38%, ampliando o risco para mais de 20% das áreas de expansão urbana, que se tornarão suscetíveis a acidentes naturais (Nobre et al., 2011). O estudo também destaca que o aumento na frequência de eventos de chuvas intensas pode dobrar o número de dias com precipitação acima de 10 milímetros, agravando a vulnerabilidade da população, especialmente nas áreas periféricas e de menor infraestrutura.

#### 2.1.1 Cenário de enchentes no sul do Brasil

Com base no histórico das enchentes no Rio Grande do Sul, observa-se que os desastres relacionados ao excesso de chuvas não são um fenômeno recente. Desde 1941, o estado lida com eventos catastróficos, como a enchente que devastou Porto Alegre naquele ano, considerada uma das mais graves da história da cidade. Ao longo das décadas, esses episódios continuaram a ocorrer, expondo a vulnerabilidade da região diante de chuvas intensas e repentinas. A combinação de fatores naturais, como a geografia da região e os ciclos climáticos, aliado às ações humanas nocivas ao meio ambiente, contribui para a repetição e intensificação dessas tragédias (VEJA, 2024).

Em Santa Catarina, estado adjacente ao Rio Grande do Sul, as enchentes também são fenômenos recorrentes que, ao longo dos anos, têm causado impactos sociais, econômicos e ambientais. Um dos eventos mais recentes foi registrado em maio de 2024, quando o estado registrou vários dias com altos índices pluviométricos, levando ao transbordamento de rios, deslizamentos de terra e bloqueios em diversas rodovias (G1, 2024).

#### 2.1.2 Dinâmica do Rio Guaíba

O Rio Guaíba, principal manancial de abastecimento de água para a capital do Rio Grande do Sul e região, é alvo de estudo sobre diversos temas, incluindo sua hidrodinâmica e nível ao longo do ano. No Artigo conduzido pelos pesquisadores (ANDRADE *et al.*, 2017), a variabilidade nas descargas líquidas do Rio Guaíba revelou flutuações significativas nos volumes de descarga, variando de 407 m<sup>3</sup>/s a 14.270 m<sup>3</sup>/s, o que indica uma grande influência das condições climáticas sazonais e da vazão dos rios tributários, como o Jacuí, Taquarí, Caí e Sinos. Essas variações extremas foram observadas durante o período de

2014 a 2017 e reforçam a importância de monitorar continuamente o regime de águas do Guaíba para prevenir enchentes e outros desastres associados (ANDRADE *et al.*, 2017).

## 2.2 APRENDIZADO DE MÁQUINA

Desde que os computadores foram inventados, criou-se o questionamento da possibilidade de fazê-los pensar de modo semelhante ao ser humano. Por meio desse avanço, diversas áreas sofreriam grandes transformações, uma vez que a capacidade da máquina aprender e aprimorar o seu conhecimento sobre determinado assunto traria melhorias e uma maior performance na atividade desejada (CARBONELL; MICHALSKI; MITCHELL, 1983).

Embora os computadores ainda não alcancem o mesmo nível de aprendizado geral do ser humano, nos últimos anos, o aprendizado de máquina (do inglês, *machine learning*, ou ML) se tornou realidade, com aplicações em diversos setores relacionados ou não a tecnologia, agregando valor e conhecimento por meio de dados e informações antes tratados apenas por profissionais da área.

Esse conceito envolve a criação de sistemas que são capazes de aprender a partir de dados, identificando padrões e realizando previsões sem a necessidade de programação explícita. De acordo com (CARBONELL; MICHALSKI; MITCHELL, 1983), o principal objetivo do ML é construir algoritmos que permitam que os computadores adquiram conhecimento e melhorem sua performance de forma autônoma, baseando-se em experiências passadas.

### 2.2.1 Categorias de aprendizado de máquina

Com pesquisas e algoritmos sendo desenvolvidos para novas aplicações e/ou aprimoramento de implementações existentes, tornou-se necessário criar categorias de ML, a fim de classificar a sua função e estipular em quais cenários o seu uso é adequado.

Os quatro principais tipos de ML são: supervisionado, não supervisionado, semi-supervisionado e reforço (SARAVANAN; SUJATHA, 2018).

- Supervisionado: é o mais comum e envolve a utilização de dados rotulados, no qual o modelo é treinado com entradas e saídas conhecidas para fazer previsões sobre novos dados;
- Não supervisionado: lida com dados não rotulados, onde o sistema busca encontrar padrões ou agrupamentos nos dados;
- Semi supervisionado: combina elementos de ambos os métodos, utilizando uma pequena quantidade de dados rotulados e uma grande quantidade de dados não rotulados, sendo útil em cenários onde a rotulação de dados é cara ou complexa;

- Aprendizado por reforço: se baseia em um sistema de recompensas e punições, onde um agente interage com o ambiente e aprende a otimizar suas ações para alcançar um objetivo a partir de feedbacks recebidos.

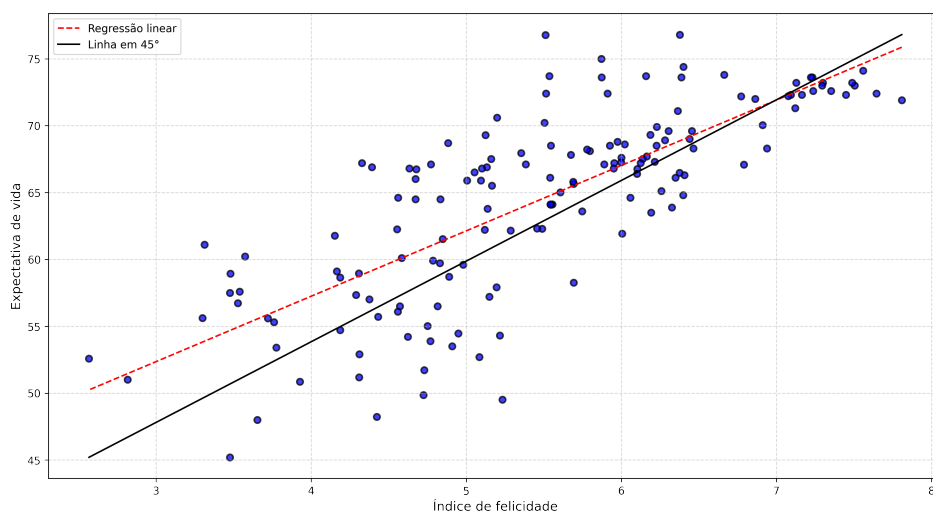
## 2.3 REGRESSÃO

A partir da necessidade de realizar previsões, visando compreender e estimar a dinâmica dos fenômenos estudados, a regressão se apresenta como uma ferramenta que busca modelar relações entre variáveis dependentes e independentes através de métodos estatísticos (SOTO, 2013).

Em uma equação linear, uma variável independente, comumente representada pela letra  $x$ , caracteriza uma grandeza que está sendo manipulada durante um experimento. Dado esse comportamento, a variável  $x$  não sofre influência de outras variáveis. A variável dependente, comumente representada pela letra  $y$ , caracteriza valores que estão diretamente associados à variável independente. Assim, de forma direta ou indireta,  $x$  exerce influência sobre  $y$ .

Na Figura 1, a fim de exemplificar um caso de regressão, é apresentada a relação entre a expectativa de vida baseada e um índice de felicidade calculado em diversos países obtidos a partir de um levantamento feito por (HELLIWELL *et al.*, 2020). Neste estudo, a variável independente é representada pelo índice de felicidade, enquanto a expectativa de vida representa a variável dependente. Desse modo, uma análise visual do gráfico permite inferir uma tendência de expectativa de vida maior em países com alto índice de felicidade.

Figura 1 – Relação entre o índice de felicidade e expectativa de vida.



Fonte: (HELLIWELL *et al.*, 2020)

Embora uma inferência inicial permita constatar uma correlação entre as variáveis

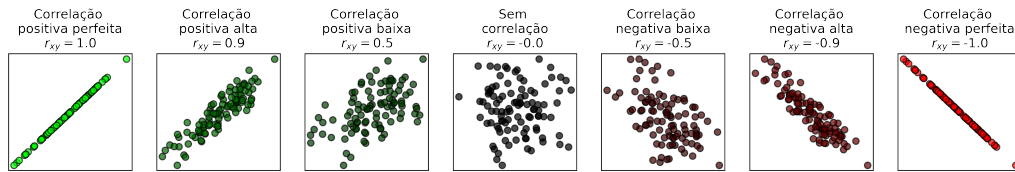
da equação, a criação de um modelo de previsão necessita de métodos que comprovem a correlação pressuposta. Para determinar as relações entre as variáveis dependentes e independentes de um sistema, coeficientes de correlação são calculados, gerando valores que medem e comprovam estatisticamente o grau de correspondência dos fatores estudados. Uma das métricas de correlação mais utilizadas é o coeficiente de Pearson, que mede a associação linear entre duas variáveis (KIRCH, 2008).

Esse coeficiente de correlação pode ser definido pela Equação (1), onde  $n$  é o total de amostras,  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  são as médias aritméticas de ambas as variáveis. Os valores do coeficiente de Pearson variam entre -1 e 1, de tal forma que quanto mais próximos desses extremos, melhor correlacionado estão as variáveis.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

A Figura 2 mostra alguns exemplos com gráficos de dispersão de variáveis com diferentes correlações.

Figura 2 – Diferentes correlações entre variáveis.



Fonte: (HELLIWELL *et al.*, 2020)

Sendo assim, com o cálculo do coeficiente indicando uma alta correlação entre os dados estudados, os métodos de regressão utilizam esta premissa entre as variáveis para estimar valores não existentes no conjunto de dados. Contudo, o coeficiente de correlação também pode mostrar variáveis que não interferem na dinâmica uma da outra no conjunto de informações analisadas, tornando necessário o uso de algoritmos robustos, que dispensam esse o fator de correlação para realizar as previsões desejadas.

## 2.4 REGRESSÃO LINEAR

A técnica de regressão linear é amplamente utilizada nos campos de estudo da engenharia, ciências físicas e químicas, economia, gestão, ciências biológicas e da vida, e ciências sociais. Em casos onde se deseja estabelecer uma relação entre uma variável preditora ou regressora (normalmente representada por  $x$ ) e uma variável resposta (representada por  $y$ ), a descrição dessa relação por meio de uma equação linear configura a implementação da técnica para a modelagem do problema estudado (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012).

A aplicação da técnica é relevante devido à sua simplicidade e capacidade de fornecer previsões baseadas em uma fórmula matemática interpretável. Além disso, o método é base para implementações de algoritmos na área de ciência de dados como aprendizado de máquina, otimizando o processamento de dados complexos e viabilizando a criação de modelos de previsão (SERVICES, 2024).

O método de regressão linear é dividido em dois grupos, sendo eles: regressão linear simples (RLS) e regressão linear múltipla (RLM) (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012). A RLS tem como objetivo estabelecer uma relação entre duas variáveis através de uma função, cuja definição é dada por:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2)$$

Onde  $y$  é a variável alvo,  $x$  a variável regressora, enquanto  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são coeficientes calculados pela regressão, que representam o intercepto no eixo Y e a inclinação da reta, respectivamente.

A RLM, embora seja semelhante à RLS, possui múltiplas variáveis preditoras, sendo definida por:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3)$$

Onde  $y$  é a variável alvo,  $x_1$  a  $x_k$  as variáveis regressoras, e  $\beta_0$  permanece sendo o coeficiente de intercepto do eixo Y enquanto  $\beta_1$  a  $\beta_n$  representam os coeficientes associados à  $n$ -ésima variável (SASSI *et al.*, 2012).

Em (2) e (3), nota-se a presença do erro estatístico representado por  $\varepsilon$ , que é a diferença entre o valor observado e o valor previsto pela equação de regressão. Esse erro é considerado aleatório e contabiliza a falha do modelo ao tentar se aproximar do comportamento denotado pelos dados amostrados (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012).

Partindo para um cenário ideal, a fim de se ter uma melhor compreensão do modelo de regressão linear, assume-se que seja possível fixar o valor da variável regressora  $x$  ao observar um valor  $y$  correspondente. Partindo dessa premissa, todos os valores do lado direito da equação (2) são conhecidos, exceto o erro  $\varepsilon$ , que passa a determinar as propriedades de  $y$ . Realizando outra suposição, onde a média e a variância de  $\varepsilon$  são iguais a zero e  $\sigma^2$ , respectivamente (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012), a resposta média para qualquer valor da variável regressora é dada por:

$$E(y | x) = \mu_{y|x} = E(\beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (4)$$

e a variância é dada por:

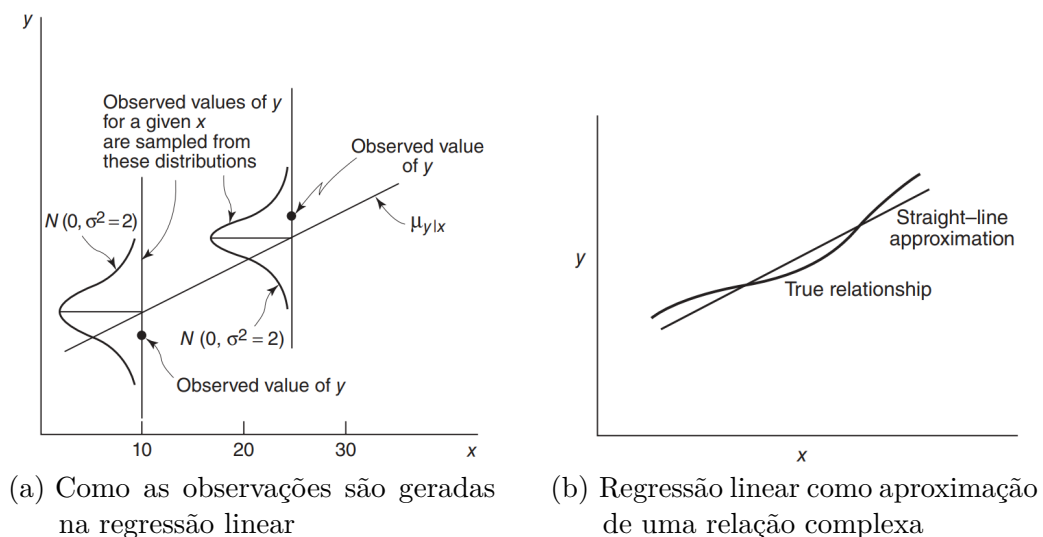
$$Var(y | x) = \sigma_{y|x}^2 = Var(\beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon) = \sigma^2 \quad (5)$$

Desse modo, o modelo de regressão verdadeiro  $\mu_{y|x} = \beta_0 + \beta_1 x$  representa uma linha de valores médios, ou seja, a altura da linha de regressão em qualquer valor de  $x$  corresponde ao valor esperado de  $y$  para aquele  $x$ .

Para exemplificar a suposição acima, tem-se um modelo de regressão ilustrado pela Figura 3a, onde  $\mu_{y|x} = 3,5 + 2x$ , com variância  $\sigma^2 = 2$ . Nota-se que uma distribuição normal é utilizada para descrever a variação aleatória do erro  $\varepsilon$ . Estabelecido que  $y$  é a soma de uma constante  $\beta_0 + \beta_1 x$  (a média) e uma variável aleatória normalmente distribuída, é possível inferir que  $y$  também segue uma distribuição normal. No mesmo exemplo, se  $x = 10$  amostras,  $y$  terá distribuição normal com média  $\mu_{y|x} = 3,5 + 2(10) = 23,5$  e variância  $\sigma^2 = 2$ . Quanto menor a variância, mais próximos os pontos estarão da linha de regressão, enquanto uma variância maior resultará em pontos mais dispersos em relação à linha de regressão (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012).

A maioria dos fenômenos nos quais se deseja obter a função que descreve o seu comportamento resulta em uma aproximação funcional através das variáveis de interesse. Essas relações funcionais frequentemente baseiam-se em teorias físicas, químicas ou de engenharia e ciências, ou seja, no conhecimento do mecanismo subjacente. Na Figura 3b, é mostrada uma relação entre as variáveis  $x$  e  $y$  relativamente complexa, mas que pode ser aproximada de por uma equação de regressão linear, com um erro relativamente baixo.

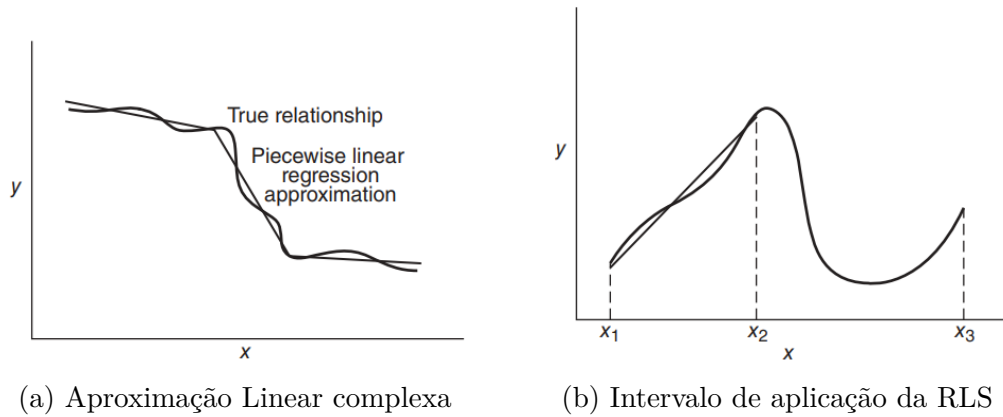
Figura 3 – Interpretação de uma regressão linear



Fonte: (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012)

Contudo, em alguns casos, quando a dinâmica do modelo a ser estimada passa a ter um grau de complexidade maior, como é o caso da Figura 4a, utilizar uma RLS pode implicar em erros que extrapolam a tolerância exigida no estudo. Nesses cenários, utilizar uma função de regressão linear em intervalos específicos, ou seja, uma RLM, se torna uma alternativa plausível, tendo em vista que, para intervalos menores onde a dinâmica do fenômeno é mais linear, a regressão apresenta um erro menor, como mostra a Figura 8f.

Figura 4 – Situações de inadequação da RLS



Fonte: (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012)

Partindo desses conceitos, para implementação de modelos de regressão linear e múltipla, o método dos Mínimos Quadrados Ordinários se apresenta como uma abordagem para estimar a melhor regressão dos pontos observados, encontrando uma reta com o menor erro entre as amostras e os valores da função estudada.

## 2.5 MÉTODO DOS QUADRADOS ORDINÁRIOS

O método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) atua como uma ferramenta estatística, visando estimar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes (ALKAMA *et al.*, 2020), permitindo encontrar os coeficientes desejados para o funcionamento do modelo.

Para obter uma regressão que se aproxima da dinâmica analisada, o método visa minimizar a Soma Residual dos Quadrados (RSS), denotado por:

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (6)$$

para os casos de RLS, ou seja, quando há apenas uma variável independente. Para o caso de RLM, a equação é dada por:

$$RSS = \sum_{i=1}^n \left( y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij} \right)^2 \quad (7)$$

onde:

- $y_i$  é uma variável aleatória e representa o valor da variável resposta (variável dependente) na  $i$ -ésima observação
- $x_{ij}$  representa o valor da variável explicativa (variável independente, variável regressora) na  $i$ -ésima observação. Nota-se que podem existir múltiplas variáveis independentes para uma variável independente;

- $\beta_0$  e  $\beta_j$  são os parâmetros do modelo que serão estimados, e que definem a reta de regressão

Para minimizar a SSR em um caso de RLS, por exemplo, são calculadas as derivadas parciais de  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , igualando ambas a zero.

Derivada em relação à  $\beta_0$ :

$$\frac{\partial SSR}{\partial \beta_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) = 0 \quad (8)$$

simplificando:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n y_i - n\beta_0 - \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i &= 0 \end{aligned}$$

dividindo por  $n$ :

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - \beta_0 - \beta_1 \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} &= 0 \\ \bar{y} - \beta_0 - \beta_1 \bar{x} &= 0 \end{aligned}$$

onde  $\bar{y}$  e  $\bar{x}$  são as médias amostrais de  $y$  e  $x$ , respectivamente. Assim, a equação pode ser reescrita como:

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (9)$$

Derivada em relação à  $\beta_1$ :

$$\frac{\partial SSR}{\partial \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) = 0 \quad (10)$$

substituindo  $\beta_0$  na equação:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i (y_i - (\bar{y} - \beta_1 \bar{x}) - \beta_1 x_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \bar{y} + \beta_1 \bar{x} - \beta_1 x_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \bar{y}) + \sum_{i=1}^n x_i (\beta_1 \bar{x} - \beta_1 x_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \bar{y}) - \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i (x_i - \bar{x}) &= 0 \end{aligned}$$

sabendo que:



$$\sum_{i=1}^n x_i(x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

e

$$\sum_{i=1}^n x_i(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

portanto:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) &= \beta_1 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \\ \beta_1 &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Desse modo, a partir de um problema onde uma ou mais entradas geram amostras que resultam em uma saída, torna-se possível estimar uma função que melhor representa seu comportamento, minimizando ao máximo o valor da soma residual dos quadrados entre os pontos amostrais e a curva do modelo.

Variável Independente	Variável Dependente
0,38	6,98
0,41	4,05
0,44	5,52
0,59	6,93
0,98	6,57
1,04	6,41
1,22	8,27
1,53	6,93
1,74	8,89
1,84	9,31

Tabela 1 – Tabela de Valores Ordenados: Variável Independente vs. Variável Dependente

A Tabela 1 apresenta um exemplo de dados amostrais, onde a variável independente é representada pela primeira coluna e a variável dependente pela segunda coluna. A partir desses dados, é possível aplicar o método dos mínimos quadrados para encontrar os coeficientes que melhor se ajustam à reta de regressão linear.

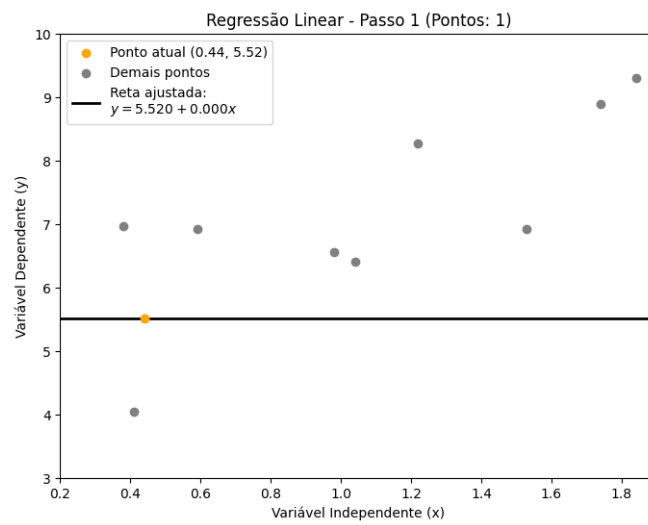
Ao aplicar o método para resolver um problema, como é o caso da Tabela 1, todos os pontos amostrados são utilizados para encontrar a reta que melhor se ajusta aos dados. Contudo, visando mostrar como a dinâmica de regressão utilizando MQO funciona, nos passos seguintes, as amostras são consideradas de forma cumulativa, alterando a cada iteração os valores de  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , até que a reta de regressão linear se ajuste aos dados amostrais.

Passo 1: Apenas o ponto (0.44, 5.52)

Com um único ponto, a reta passa exatamente por sobre o mesmo, porém o método MQO exige pelo menos dois pontos para definir uma inclinação. Assim, assume-se uma reta horizontal ao usar o ponto como base inicial.

$$\beta_0 = 5.52, \quad \beta_1 = 0$$

Figura 5 – Passo 1 da regressão linear pelo método MQO.



Fonte: Autor.

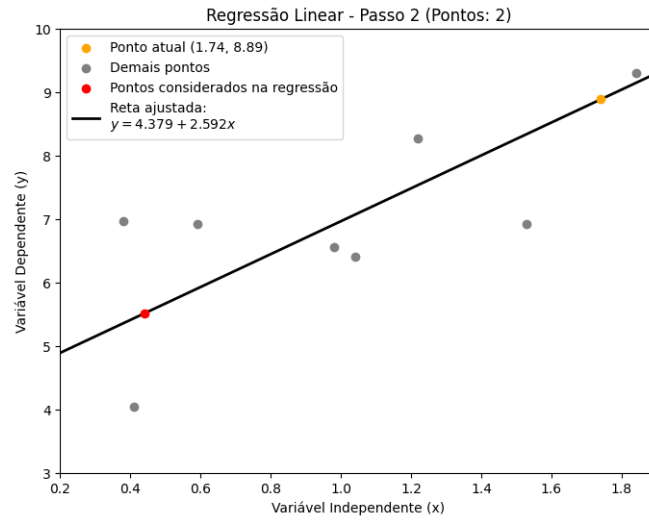
Passo 2: Adiciona-se (1.74, 8.89)

n=2

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{0.44 + 1.74}{2} = 1.09, & \bar{y} &= \frac{5.52 + 8.89}{2} = 7.205 \\ \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) &= (0.44 - 1.09)(5.52 - 7.205) + (1.74 - 1.09)(8.89 - 7.205) = \\ &= (-0.65)(-1.685) + (0.65)(1.685) = 1.09525 + 1.09525 = 2.1905 \\ \sum (x_i - \bar{x})^2 &= (0.44 - 1.09)^2 + (1.74 - 1.09)^2 = 0.4225 + 0.4225 = 0.845 \\ \beta_0 &= \frac{2.1905}{0.845} \approx 2.5923 \\ \beta_1 &= 7.205 - 2.5923 \cdot 1.09 \approx 7.205 - 2.8255 = 4.3795 \end{aligned}$$

$$\hat{y} = 4.3795 + 2.5923x$$

Figura 6 – Passo 2 da regressão linear pelo método MQO.



Fonte: Autor.

Passo 3: Adiciona (0.41, 4.05)

n = 3

$$\bar{x} = \frac{0.44 + 1.74 + 0.41}{3} = 0.8633, \quad \bar{y} = \frac{5.52 + 8.89 + 4.05}{3} = 6.1533$$

$$\begin{aligned} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) &= \\ (0.44 - 0.8633)(5.52 - 6.1533) &+ \\ (1.74 - 0.8633)(8.89 - 6.1533) &+ \\ (0.41 - 0.8633)(4.05 - 6.1533) &\approx \\ 0.268 + 2.399 + 0.953 &= 3.62 \end{aligned}$$

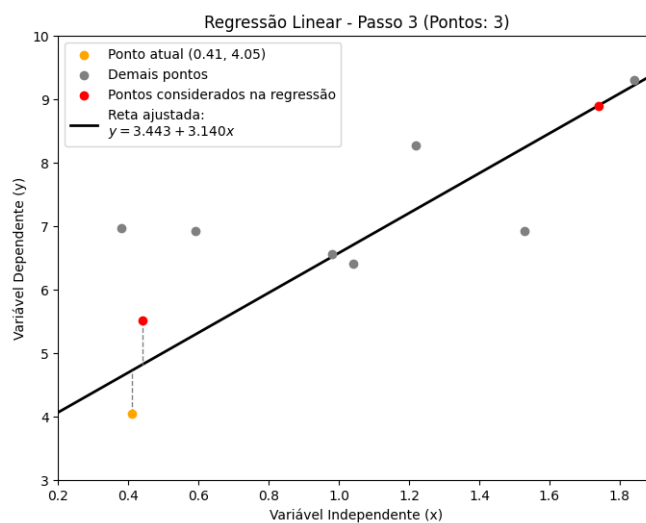
$$\begin{aligned} \sum (x_i - \bar{x})^2 &= (0.44 - 0.8633)^2 + (1.74 - 0.8633)^2 + (0.41 - 0.8633)^2 \\ &\approx 0.179 + 0.769 + 0.205 = 1.153 \end{aligned}$$

$$\beta_0 = \frac{3.62}{1.153} \approx 3.1402$$

$$\beta_1 = 6.1533 - 3.1402 \cdot 0.8633 \approx 6.1533 - 2.711 = 3.4423$$

$$\hat{y} = 3.4423 + 3.1402x$$

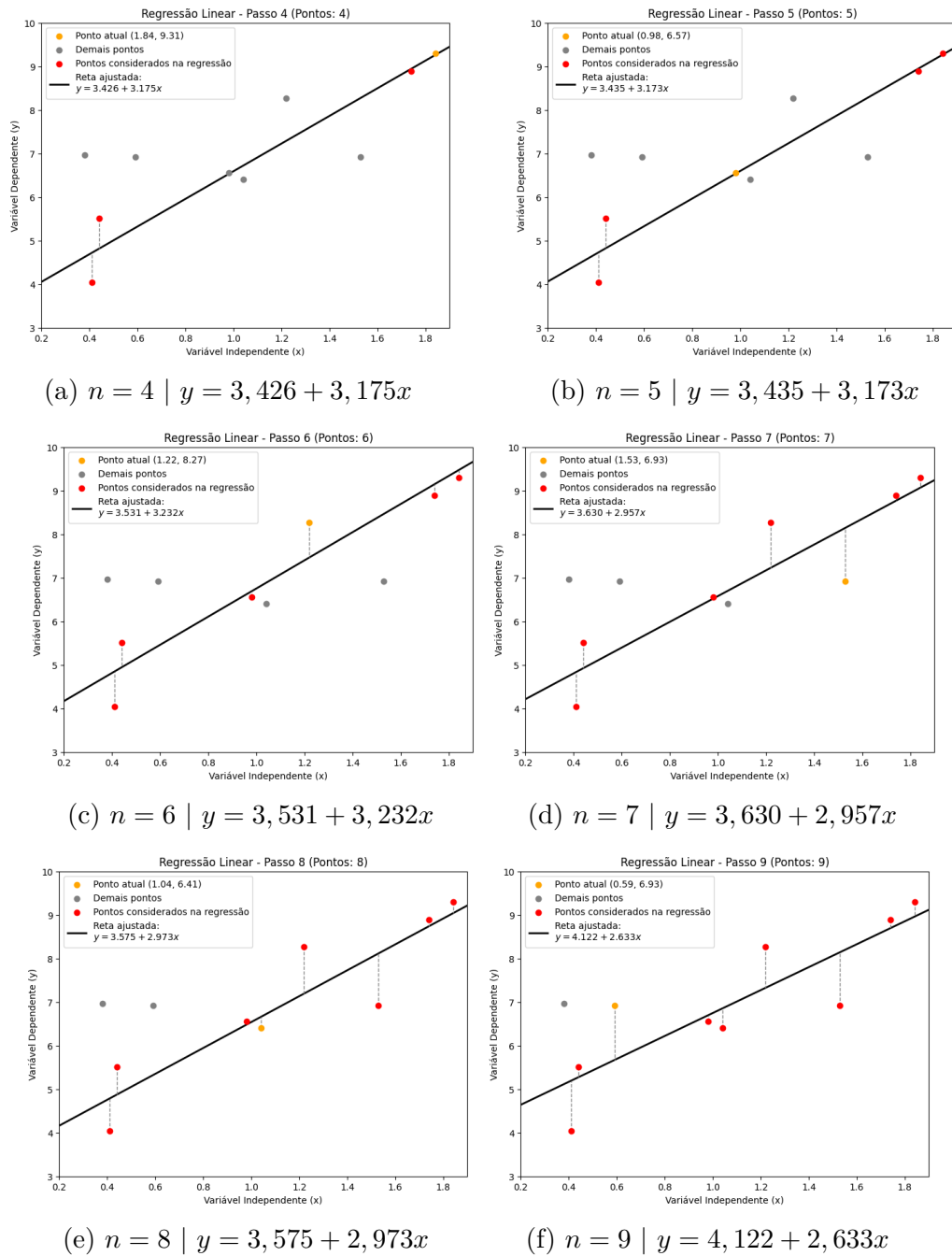
Figura 7 – Passo 3 da regressão linear pelo método MQO.



Fonte: Autor.

Para os demais passos, o mesmo cálculo é realizado, onde a média amostral e os coeficientes são recalculados a cada iteração, conforme os pontos são adicionados.

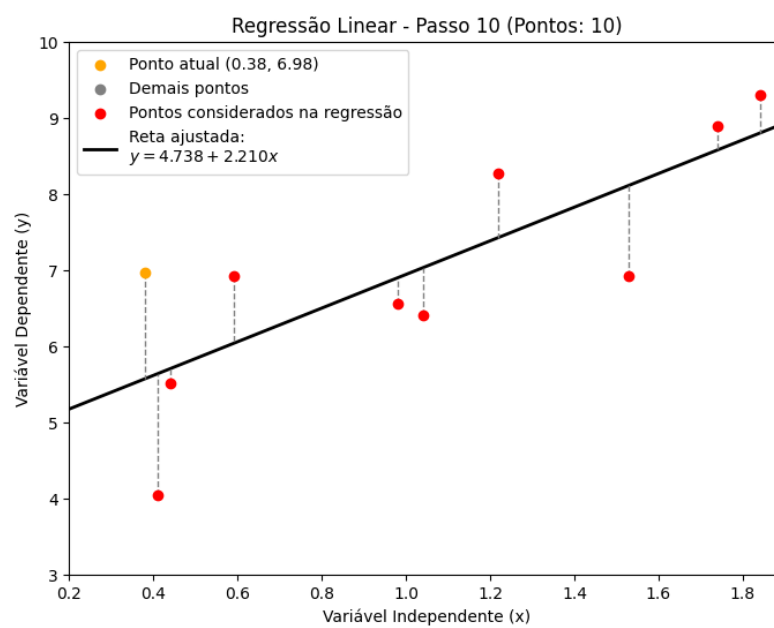
Figura 8 – Iterações da aplicação do método MQO



Fonte: Autor.

Assim, a cada ponto selecionado da amostra, é calculada a derivada parcial da função estimada, determinando novos coeficientes que melhor descrevem a reta entre as amostras. Dado que não é possível estimar uma reta que passe sobre todos os pontos amostrados, os resíduos representados pelas linhas tracejadas na Figura 9 são definidos de tal modo que o somatório dos seus quadrados seja o menor possível.

Figura 9 – Passo 10 da regressão linear pelo método MQO.

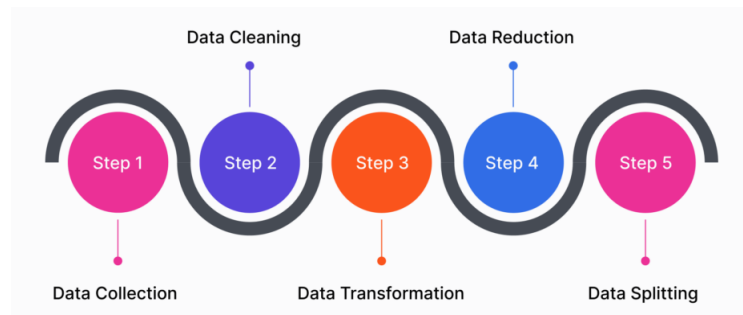


Fonte: Autor.

### 3 PREPARAÇÃO DOS DADOS PARA O TREINAMENTO

Antes de iniciar o treinamento, existem alguns procedimentos iniciais que garantem desde a coleta correta das informações necessárias para o modelo, até a limpeza, transformação e redução dos dados. Nesta seção, serão abordadas as etapas necessárias para preparar os dados para o treinamento do modelo, seguindo o fluxo de trabalho descrito na Figura 10.

Figura 10 – Passos para preparação dos dados.



Fonte: (AI, 2023)

#### 3.1 COLETA DE DADOS

Considerando a premissa do trabalho, em que a previsão do nível do rio será dada a partir de dados meteorológicos da cidade de Porto Alegre, junto aos dados de monitoramento do nível dos rios que constituem a bacia do Guaíba, duas fontes de dados foram utilizadas. Para os dados meteorológicos, o portal do *INMET*<sup>1</sup> (Instituto Nacional de Meteorologia) foi utilizado, onde foram coletadas as informações de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento. Já os dados de monitoramento dos rios foram coletados no site da *SEMA-RS*<sup>2</sup> (Sala de situação), onde foram coletados os dados de nível do rio Guaíba, Caí, Jacuí, Sinos e Gravataí. Os dados meteorológicos foram coletados em formato *CSV*, com arquivos separados em anos de monitoramento com frequência horária, enquanto os dados dos níveis dos rios foram coletados no formato *.xlsx*, com histórico completo de amostragem das informações em frequência de 15 minutos, utilizando a biblioteca *Pandas* do Python.

#### 3.2 PRÉ PROCESSAMENTO DOS DADOS

Antes de seguir para o próximo passo mostrado na Figura 10, os dados coletados necessitam de um pré-processamento específico para cada uma das fontes utilizadas. Para

<sup>1</sup> <https://portal.inmet.gov.br/>

<sup>2</sup> <https://www.saladesituacao.rs.gov.br/dados>

os dados meteorológicos, devido às informações estarem separadas por ano de monitoramento, foi necessário concatenar os arquivos de cada ano em um único arquivo, utilizando a função *concat* da biblioteca *Pandas*, removendo o cabeçalho de informações geográficas da estação, ilustrado na Figura 11 Além disso, foi necessário combinar as duas primeiras colunas e converter o formato de data e hora para o padrão *datetime*, utilizando a função *to\_datetime* da mesma biblioteca.

Figura 11 – Dados meteorológicos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	REGIÃO	S																				
2	UF	RS																				
3	ESTACÃO	PORTO ALEGRE																				
4	CODIGO (MMG)	AB01																				
5	LATITUDE	-30.05																				
6	LONGITUDE	-51.09999999																				
7	ALTITUDE	66,97																				
8	DATA DE FUNDAÇÃO (YYYY-MM-DD)	2000-09-22																				
9	DATA (YYYY-MM-DD)	HORA (HH)	PRECIPITAC	PRESSAO A	PRESSAO A	PRESSAO A	IRADIAÇÃO G	TEMPERATU	TEMPERATU	TEMPERATU	TEMPERATU	TEMPERATU	TEMPERATU	UMIDADE R	UMIDADE R	UMIDADE R	UMIDADE R	UMIDADE R	UMIDADE R	UMIDADE R	UMIDADE R	
10	2014-01-01 00:00	0	1001.3	1001.3	1000.9	-9999	25.3	20.1	26.1	25.3	20.4	20	74	69	73	80	3.6	1				
11	2014-01-01 01:00	0	1001.5	1001.5	1001.2	-9999	24.6	20.7	25.4	24.6	20.6	20.9	20.1	79	73	79	33.1	2.2	0			
12	2014-01-01 02:00	0	1001.1	1001.5	1001.1	-9999	24.8	20.7	25	24.6	20.9	20.6	79	78	78	95	1.8	0.5				
13	2014-01-01 03:00	0	1000.7	1001.1	1000.6	-9999	24.2	20.6	24.9	24.2	20.8	20.6	83	78	89	101	2.5	1.1				
14	2014-01-01 04:00	0	1000.7	1001	1000.7	-9999	24.4	21.1	24.6	24.2	21.1	20.6	82	80	82	129	2.3	0.5				
15	2014-01-01 05:00	0	1000.6	1000.7	1000.3	-9999	24.1	21.4	24.5	24	21.6	21	85	82	85	112	2.3	0				
16	2014-01-01 06:00	0	1000.8	1000.8	1000.4	-9999	23.9	21.9	24.1	23.7	21.8	21.3	88	85	88	114	2.7	0.8				
17	2014-01-01 07:00	0	1002	1002	1001.8	-9999	23.7	21.8	23.9	23.7	21.9	21.7	89	88	89	65	3	0.5				
18	2014-01-01 08:00	0	1002.1	1002.1	1001.9	-9999	23.9	22.1	23.9	23.5	22.3	21.8	91	89	90	123	2.7	1.1				
19	2014-01-01 09:00	0	1002.1	1002.2	1001.8	-9999	24	22.3	24.1	23.8	22.4	21.9	91	89	91	89	3.6	1				
20	2014-01-01 10:00	0	1002.2	1002.3	1002.1	-9999	23.9	22.4	25.1	24	22.7	22.2	91	88	88	113	3.6	1.3				
21	2014-01-01 11:00	0	1002.8	1002.8	1002.2	-9999	23.9	22.5	25.9	24.8	22.7	22.1	86	82	82	89	4.9	1.2				
22	2014-01-01 12:00	0	1003	1003	1002.8	-9999	23.7	22.6	28.7	25.9	23.2	22	83	70	74	4	1.1					
23	2014-01-01 13:00	0	1002.8	1003.1	1002.9	-9999	23.6	22	30.4	28.4	23.1	21.4	71	61	64	86	3.9	1.1				
24	2014-01-01 14:00	0	1002.5	1002.8	1002.5	-9999	24.0	22.1	31.4	29.6	22.8	21.1	65	57	62	128	3	1.1				
25	2014-01-01 15:00	0	1002	1002.5	1002	-9999	2027.4	30.9	22.1	31.5	30	23	21.5	64	58	59	100	3.3	1.3			
26	2014-01-01 16:00	0	1001.4	1001.1	1001.4	-9999	230.6	31.7	22.9	32.1	30.6	23.6	21.3	63	54	60	395	4.3	1.4			
27	2014-01-01 17:00	0	1000.7	1001.4	1000.7	-9999	3712.8	32	23.4	34.1	31.7	24.5	22.3	61	54	60	242	6.2	2.2			

Fonte: Autor.

Analisando as colunas e os seus respectivos tipos de dados, tem-se a seguinte tabela:

Coluna	Tipo
Precipitação Total (mm)	float64
Pressão Atmosférica ao Nível da Estação (mB)	float64
Pressão Atmosférica Máx. na Hora Anterior (mB)	float64
Pressão Atmosférica Mín. na Hora Anterior (mB)	float64
Radiação Global (kJ/m <sup>2</sup> )	float64
Temperatura do Ar - Bulbo Seco (°C)	float64
Temperatura do Ponto de Orvalho (°C)	object
Temperatura Máxima na Hora Anterior (°C)	object
Temperatura Mínima na Hora Anterior (°C)	object
Temperatura Orvalho Máx. na Hora Anterior (°C)	float64
Temperatura Orvalho Mín. na Hora Anterior (°C)	float64
Umidade Relativa Máx. na Hora Anterior (%)	float64
Umidade Relativa Mín. na Hora Anterior (%)	object
Umidade Relativa do Ar (%)	object
Vento - Direção Horária (° (gr))	object
Vento - Rajada Máxima (m/s)	float64
Vento - Velocidade Horária (m/s)	float64

Tabela 2 – Tabela de tipos de dados da base de informações meteorológicas.

A partir dela, nota-se que algumas colunas estão com o tipo de dado *object*, o que indica que os dados não estão no formato correto. Para resolver isso, foi necessário converter as colunas de temperatura e umidade relativa do ar para o tipo *float64*.



Já para os dados dos níveis dos rios, também foi necessário remover o cabeçalho com dados geográficos da estação de monitoramento, como mostra a Figura 12, junto da conversão do formato de data e hora para o padrão *datetime* da primeira coluna.

Figura 12 – Dados meteorológicos.

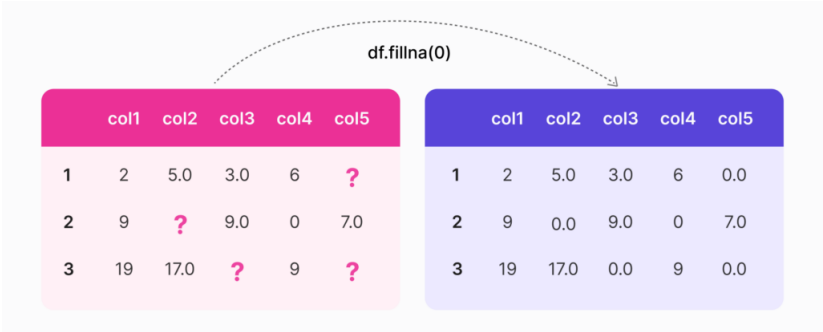
	A	B	C	D
1	Longitude: -51.0461			
2	Nome: CAMPO BOM			
3	Latitude: -29.6917			
4	Código: 87380000			
5	Data	Nível (cm)	Vazão (m³/s)	Chuva (mm)
6				
7				
8				
9				
10	30/06/2024 09:00:00	618	276,88	0
11	30/06/2024 08:45:00	619	278,37	0
12	30/06/2024 08:30:00	619	278,37	0
13	30/06/2024 08:15:00	619	278,37	0
14	30/06/2024 08:00:00	619	278,37	0
15	30/06/2024 07:45:00	619	278,37	0
16	30/06/2024 07:30:00	620	279,87	0
17	30/06/2024 07:15:00	619	278,37	0
18	30/06/2024 07:00:00	620	279,87	0

Fonte: Autor.

3.3 LIMPEZA DOS DADOS

Após a coleta dos dados, o próximo passo é a limpeza dessas informações, cujo procedimento consiste em remover dados duplicados, corrigir erros de formatação e lidar com valores ausentes. Existem diferentes abordagens para tratar valores inconsistentes no dados coletados. Uma abordagem comum, principalmente em casos onde não há uma linearidade ou tendência clara é o preenchimento com zero, como mostra a Figura 13, ou com a média dos dados na coluna a ser limpa.

Figura 13 – Limpeza dos dados coletados.



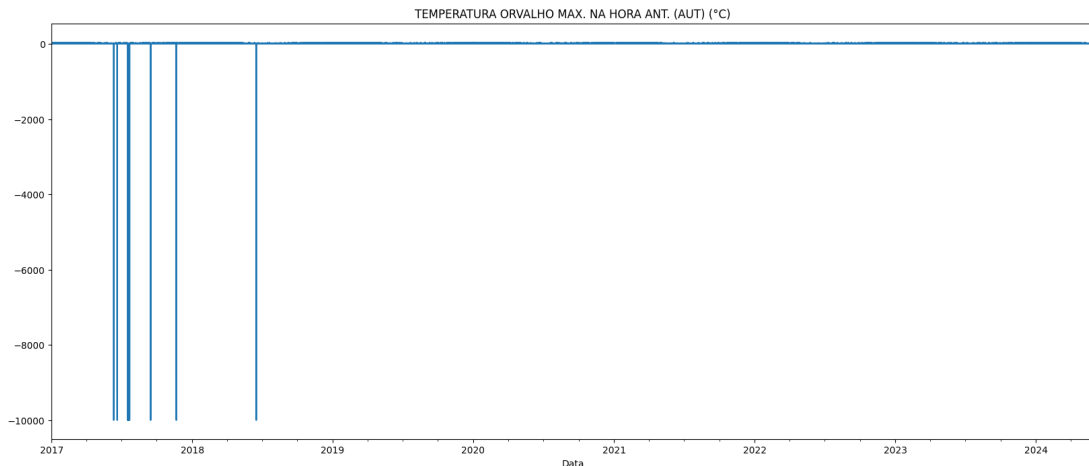
Fonte: (AI, 2023)

Nessa etapa, na base de dados meteorológicos, optou-se por preencher os dados ausentes, representados por "-", e os dados com valor igual a "-9999" por zero, já que dados meteorológicos tendem a ser mais voláteis e não apresentam uma tendência clara.

Desse modo, a abordagem de aproximação linear é descartada, a fim de não comprometer a análise do modelo de previsão.

Tomando como exemplo a coluna *TEMPERATURA ORVALHO MAX. NA HORA ANT. (AUT) (°C)*, listada na Tabela 2, na Figura 14, observa-se os valores ausentes representados por "-" e "-9999".

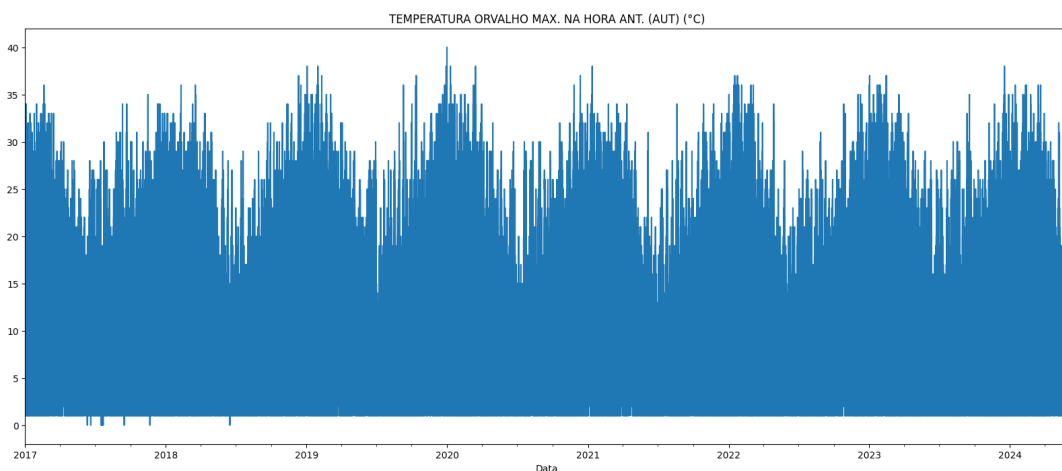
Figura 14 – Gráfico de Temperatura do orvalho Máx. na Hora Anterior (°C) não tratado.



Fonte: Autor.

Após a substituição dos valores ausentes por zero, o gráfico da mesma coluna, mostrado na Figura 15, apresenta uma distribuição mais uniforme, sem os picos de dados ausentes.

Figura 15 – Gráfico de Temperatura do orvalho Máx. na Hora Anterior (°C) tratado.



Fonte: Autor.

Após este tratamento, a coluna *TEMPERATURA ORVALHO MAX. NA HORA*

*ANT.* (*AUT*) ( $^{\circ}C$ ) passa a apresentar uma distribuição mais uniforme, sem os picos de dados ausentes, com valores condizentes com a escala esperada da unidade medida, neste caso, a temperatura em graus Celsius.

Em casos onde

Na base de dados dos níveis dos rios, embora a dinâmica que representa o comportamento do nível do rio não seja linear, o uso do conceito de aproximação linear permite preencher os dados ausentes por meio da interpolação entre os valores que cercam as células sem informação naquele período. Essa abordagem é válida, uma vez que a variação do nível do rio entre dois pontos de amostragem próximos tende a ser linear, já que o nível do rio não apresenta oscilações bruscas em curtos períodos de tempo.

Para realizar a interpolação, utilizou-se a função *interpolate* com o argumento *method = linear* da biblioteca *Pandas*, que preenche os valores ausentes com base nos dados adjacentes.

Ainda, observou-se nas bases dos níveis dos rios a ocorrência de valores ausentes no início ou no final do período de amostragem, inviabilizando a interpolação. Para esses casos, o preenchimento foi feito a partir da repetição do primeiro ou do último valor disponível, respectivamente. É importante ressaltar que tal limpeza só pode ser feita se o preenchimento ocorra em um intervalo de tempo curto, visando não afetar a análise feita pelo modelo de previsão.

## 4 CONCLUSÃO

As conclusões devem responder às questões da pesquisa, em relação aos objetivos e às hipóteses. Devem ser breves, podendo apresentar recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

- AI, Pecan. **Data Preparation for Machine Learning: The Ultimate Guide to Doing It Right**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://www.pecan.ai/blog/data-preparation-for-machine-learning/>. Acesso em: 4 mai. 2025.
- ALKAMA, Djamel *et al.* **A cultura participativa no YouTube: relação entre ídolos-fãs em canais brasileiros**. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP). Acesso em: 05/04/2025.
- ANDRADE, Mauro M.; SCOTTÁ, Fernando C.; JR., Elírio E. Toldo; WESCHENFELDER, Jair; NUNES, José C. Hidrodinâmica do Rio Guaíba: Resultados Preliminares. *In*: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017.
- CARBONELL, Jaime G.; MICHALSKI, Ryszard S.; MITCHELL, Tom M. **Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach**. Berlin: Springer, 1983. P. 619.
- G1. **Santa Catarina registra enchente, queda de barreira e dia mais chuvoso de 2024**. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2024/05/19/sc-enchente-quedas-barreira-dia-mais-chuvoso.ghtml>. Acesso em: 15 out. 2024.
- HELLIWELL, John F.; HUANG, Haifang; WANG, Shun; NORTON, Max. Social Environments for World Happiness. *In*: WORLD Happiness Report 2020. [S.l.: s.n.], 2020.
- KIRCH, Wilhelm. Pearson's Correlation Coefficient. *In*: ENCYCLOPEDIA of Public Health. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. P. 1090–1091.
- MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, G. Geoffrey. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 5. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2012. P. 672. ISBN 978-0-470-54281-1.
- SARAVANAN, R.; SUJATHA, P. A State of Art Techniques on Machine Learning: A Perspective of Supervised Learning Approaches in Data Classification. *In*: PROCEEDINGS of the Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS 2018). Puducherry: IEEE, 2018.

SASSI, Cecília P.; PEREZ, Felipe G.; MYAZATO, Letícia; YE, Xiao; FERREIRA-SILVA, Paulo H.; LOUZADA, Francisco. **Modelos de Regressão Linear Múltipla Utilizando os Softwares R e STATISTICA: Uma Aplicação a Dados de Conservação de Frutas**. São Carlos, SP, Brasil, 2012. Relatórios Técnicos.

Disponível em: <http://www.icmc.usp.br>.

SERVICES, Amazon Web. **O que é regressão linear?** 2024. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/linear-regression/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

SOTO, Timothy. Regression Analysis. *In*: VOLKMAR, Fred R. (Ed.). **Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders**. New York, NY: Springer New York, 2013. P. 2538–2538.

VEJA. **De 1941 a 2024: por que as enchentes são um desafio constante no Rio Grande do Sul**. 2024. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/ciencia/de-1941-a-2024-porque-as-enchentes-sao-desafio-constante-no-rs>. Acesso em: 15 out. 2024.

## **APÊNDICE A – Descrição**

Textos elaborados pelo autor, a fim de completar a sua argumentação. Deve ser precedido da palavra APÊNDICE, identificada por letras maiúsculas consecutivas, travessão e pelo respectivo título. Utilizam-se letras maiúsculas dobradas quando esgotadas as letras do alfabeto.

## **ANEXO A – Descrição**

São documentos não elaborados pelo autor que servem como fundamentação (mapas, leis, estatutos). Deve ser precedido da palavra ANEXO, identificada por letras maiúsculas consecutivas, travessão e pelo respectivo título. Utilizam-se letras maiúsculas dobradas quando esgotadas as letras do alfabeto.