

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

## MODELAGEM COMPUTACIONAL: UTILIZANDO CADEIAS DE MARKOV PARA PREDIZER DADOS CLIMÁTICOS

Bruno Oliveira Cardoso, Universidade do Estado da Bahia, cardosocontabil.bahia@gmail.com

Jéssica Figuera Oliveira, Universidade do Estado da Bahia, ma.jessicafiguera@gmail.com

Elaine Pereira Garrido, Universidade do Estado da Bahia, elainepgarrido@gmail.com

Marcos Batista Figueredo, Universidade do Estado da Bahia, mbfigueredo@uneb.br

Maria Dolores Ribeiro Orge, Universidade do Estado da Bahia, mdrorge@uneb.br

José Roberto de Araújo Fontoura, Universidade do Estado da Bahia, jfontoura@uneb.br

### Resumo

Na região Tropical, a precipitação pluvial desempenha um papel de extrema importância como fenômeno meteorológico, pois exerce influência sobre diversos processos em áreas variadas, como agricultura e floresta. O objetivo deste trabalho está em estimar a variabilidade da temperatura e umidade em Salvador (Ba), identificando os dias que foram outliers. Considerou-se, para esta classificação, de alcance descritivo com abordagem quantitativa. Um estudo de clima utilizando Cadeias de Markov, cujo propósito é analisar a umidade e temperatura em uma pequena área de 20m<sup>2</sup>. Criando assim, um conjunto de dados com um total de 606 dados de umidade e temperatura entre os dias 19 a 24 de junho de 2023 na cidade de Salvador-Ba. A pesquisa evidenciou que a matriz de transição da Temperatura tende a aumentar as probabilidades para que ocorram entre (28 a 30+) e que na umidade terá uma maior probabilidade de estar abaixo de 70% de umidade.

**Palavras-chave:** Cadeias de Markov, Dados climáticos, Modelagem, Python.

### 1. Introdução

Na região Tropical, a precipitação pluvial desempenha um papel de extrema importância como fenômeno meteorológico, pois exerce influência sobre diversos processos em áreas variadas, como agricultura e floresta. Especificamente na agricultura, a variabilidade das chuvas causa flutuações nos rendimentos agrícolas anuais (Mousinho et al., 2006).

Para otimizar projetos com manejo de atividades agrícolas, é essencial determinar a distribuição das chuvas e estimar as probabilidades de ocorrência de dias secos e chuvosos. O conhecimento desses aspectos contribui significativamente para a tomada de decisões sobre épocas de plantio, avaliação de riscos de escassez de água e dimensionamento e gerenciamento de sistemas de irrigação (Keller Filho, et al., 2006; Ferreira, 2012; Marcelino et al., 2012; Breinl et al., 2013). A análise da frequência de dias secos e chuvosos e suas transições ao longo do ano pode ser melhor abordada através do uso da Cadeia de Markov (Stern et al., 1982; Azevedo e Leitão, 1990; Lennartsson et al., 2008).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

O estudo de clima, os sensores de umidade e temperatura DHT22 desta pesquisa registram a entrada e após a aferição dessas informações, é possível verificar se as coletas de campo são viáveis ou não de serem realizadas naquele momento dada as probabilidades calculadas pelas Cadeias de Markov. Neste contexto, a fim de nortear pesquisadores locais que realizam este tipo de coleta, foi montado um protótipo utilizando um microcontrolador Arduino Uno 3, fazendo a escolha dos sensores climáticos básicos convenientes para estruturar as estações meteorológicas, além de servir de subsídio para os mesmos elaborarem os próprios protótipos de forma simples e prática

Além disso, com a tecnologia da IoT, viabiliza-se a automação das estações meteorológicas, aprimorando a praticidade e confiabilidade nas aquisições dos dados (Kodali; Mandal, 2016). Portanto, as vantagens deste protótipo são: a praticidade na obtenção dos dados; compacto e de fácil instalação. Cujas presentes pesquisas precípua na construção deste referido protótipo que abranja apenas os sensores de temperatura e umidade, combinados com as Cadeias de Markov que são definidas como um modelo matemático e que apenas a experiência atual poderia afetar o passo seguinte (Bolson et al., 2019).

Em função desse quadro climático volátil, esse trabalho tem o objetivo em estimar a variabilidade da temperatura e umidade em Salvador (Ba), identificando os dias que foram outliers. Para a predição dos valores futuros utilizarem os modelos de cadeia de Markov que têm sido amplamente utilizados em precipitação (Jale *et al.*, 2019; Amorim *et al.*, 2019), velocidade do vento (Santos et al., 2019).

## 2. Fundamentação teórica

Nos últimos anos, muitos estudos e diversas aplicações foram realizados sobre Cadeias de Markov nas condições climáticas, cuja proposta versa sobre a criação de estratégias para antecipação do clima. Neste sentido, este capítulo tem por finalidade a evidenciação de pesquisas em ordem crescente, do período entre 2016 e 2020.

Pasqual, Liposki, Corso (2016) Aplicação De Cadeias de Markov para Determinação de Probabilidades de Estados Climáticos na Cidade de Caxias do Sul. Este artigo propôs o emprego deste método para previsão da variação de condições meteorológicas para alguns meses do ano de 2015 na cidade de Caxias do Sul. A partir dos resultados obtidos, verifica-se que a análise dos dados climáticos atuais utilizando as Cadeias de Markov para identificação das probabilidades de transição para uma determinada situação climática futura é válida, desde que sejam utilizados dados que atendam a precisão exigida pelo modelo.

Carvalho et. al (2017) Aplicação da Cadeias de Markov para Dias Secos e Chuvosos. O objetivo desse trabalho foi analisar a ocorrência de dias secos e chuvosos na região de Rio Largo–Alagoas, por meio da Cadeia de Markov. Dados diários de precipitação entre 1973 e 2008 foram utilizados. Aplicou-se a Cadeia de Markov, para identificar as probabilidades de

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento  
23/11 | 100% online  
24/11 | e gratuito

ocorrências condicionais de dias secos e chuvosos. Maior ocorrência de dias secos e chuvosos ocorreu de novembro a dezembro (94%) e junho a julho (84%), respectivamente. A Cadeia de Markov permitiu concluir que a transição entre dias secos e chuvosos é baixa ao longo do ano.

Minuzzi (2017) Aplicação da Cadeias de Markov para Previsão Mensal de Chuva em Santa Catarina Durante o El Niño Oscilação Sul. Foram utilizados dados mensais de chuva de setembro a abril do período de 1958 a 2013 de nove estações localizadas em diferentes regiões climáticas do Estado. A pesquisa dividiu nos seguintes estados: abaixo (-1), dentro (0) e acima (1) da climatologia. Os principais resultados mostram que durante o El Niño há um padrão mais definido das chuvas, resultando em previsões probabilísticas mais eficientes por meio das matrizes de transição, quando comparadas a anos de La Niña.

Matos et. al (2019) Aplicação de Cadeias de Markov na Avaliação da Transição do Clima na Cidade de São Paulo. A pesquisa utilizou as Cadeias de Markov para obter as probabilidades de estado estável de cada estação do ano. A base de dados contempla valores diários da temperatura no período de 20 anos (1998 a 2018), vindo do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia. Verifica-se que a probabilidade de aumento de temperatura para cidade de São Paulo em cada estação do ano varia entre 77% e 83%, evidenciando as probabilidades de aumento.

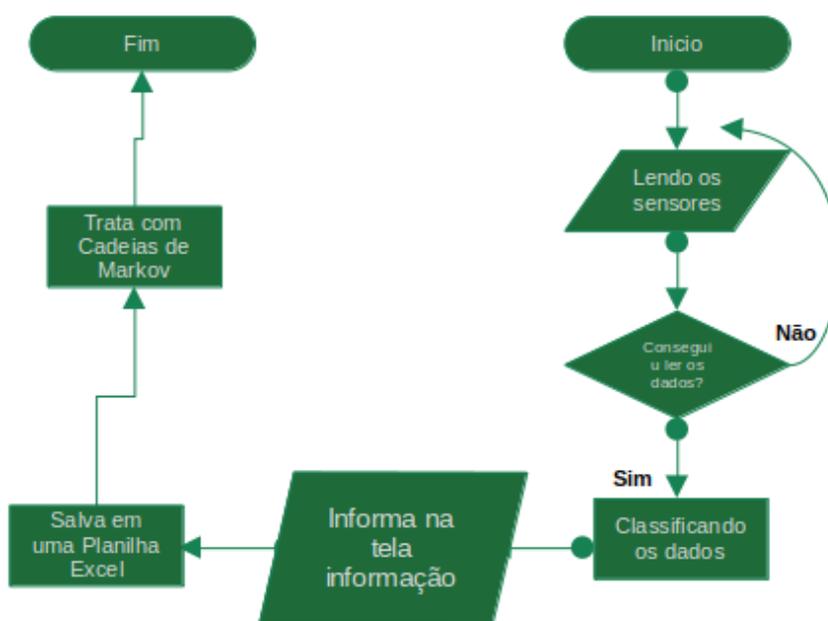
Grossi (2020) Cadeias de Markov aplicadas à definição de camadas litológicas para modelos numéricos de fluxo de águas subterrâneas. A pesquisa procura discutir as premissas utilizadas na definição do arcabouço geológico de uma simulação de fluxo. Cômputos finas dentre as repostas equiprováveis de 20 simulações MBDE, à crescentes incrementos de vazões de bombeamento, indicaram incrementos na eficácia da captação de partículas. Estimou-se que 100% das partículas devam ser captadas por uma barreira hidráulica mínima, mais eficaz, com vazão total de 96 m<sup>3</sup>/dia.

Como ficou evidenciado existem diversas pesquisas com aplicações de Cadeias de Markov e que a cada ano tem se utilizado em seus trabalhos para a criação de novos métodos para prever o clima.



### 3. Modelo Conceitual

Figura 1: Modelo Conceitual



Fonte: Autoral (2023)

### 4. Metodologia

A realização deste trabalho se dá em fomentar benefícios em auxiliar no processo de criação de um protótipo de análise de clima. Com as informações obtidas do protótipo será realizado a modelagem com as cadeias de Markov que está pautado em verificar a frequência da movimentação histórica e assim criar uma matriz de transição para monitorar as próximas que ainda virão.

Considerou-se, para esta classificação, de alcance descritivo com abordagem quantitativa. Um estudo de clima utilizando Cadeias de Markov, cujo proposito é analisar a umidade e temperatura em uma pequena área de 20m<sup>2</sup>. Esta pesquisa analisa os dados coletados como amostra os 606 dados que fundamenta este estudo.

#### 4.1. Material Utilizado

- 01 - Arduino UNO rev3
- 01 - Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 DHT22
- 01 - Protoboard

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

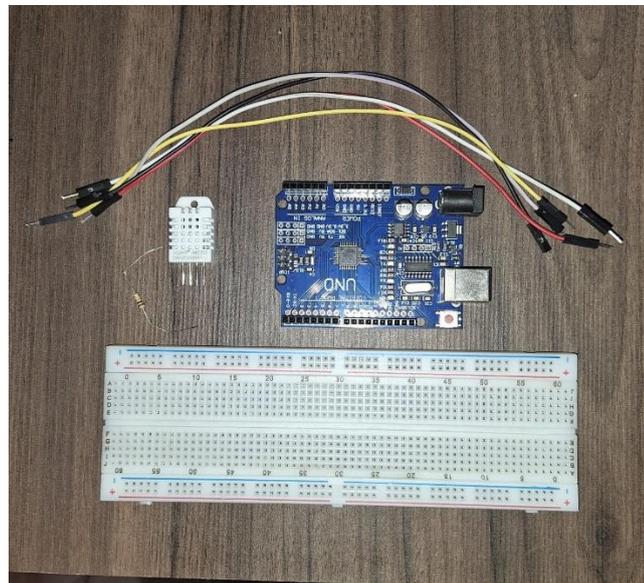
WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

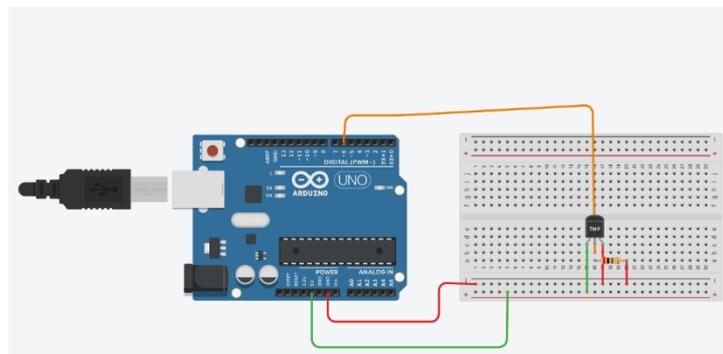
- 05 - Jumpers
- 01 - Resistor 10kW

**Figura 2. Material Utilizado**



**Fonte: Autoral (2023)**

**Figura 3. Esquema do Projeto**



**Fonte: Autoral (2023)**

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

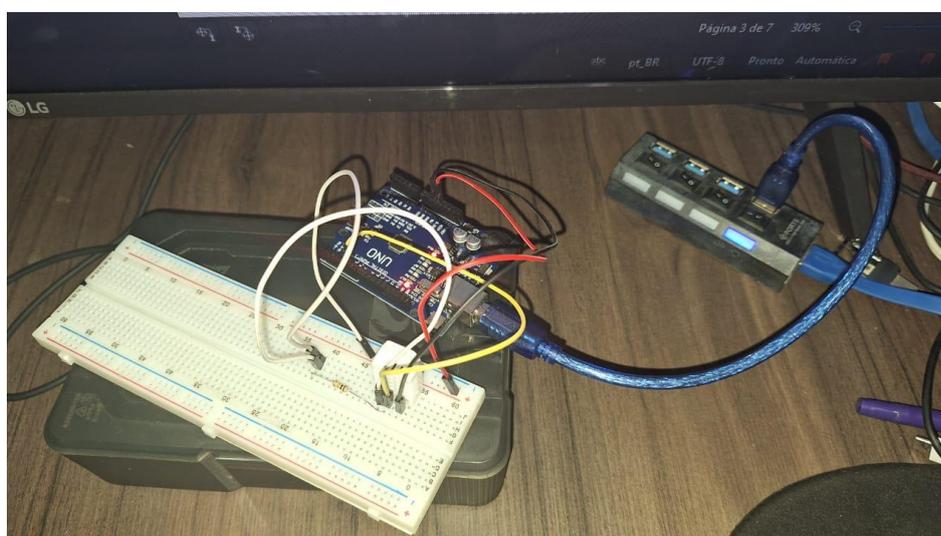
# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

**Figura 4.** Projeto Pronto



**Fonte:** Autoral (2023)

## 4.2. Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada com a utilização de um arduino uno 3 e um sensor de temperatura e umidade DHT22 em horários alternados para se obter diversas variáveis em relação ao clima. Criando assim, um conjunto de dados com um total de 606 dados de umidade e temperatura entre os dias 19 a 24 de junho de 2023 na cidade de Salvador-Ba para o cálculo das probabilidades para as Cadeias de Markov utilizando a linguagem de programação em Python para calculos das matrizes e resoluções de Markov.

## 5. Resultados

### 5.1. Temperatura

Uma observação das mudanças de estado referente a temperatura, criados 8 diferentes estados de transição, sendo que a temperatura mais baixa registrada foi de 24°C e mais alta 33°C aproximadamente e nota-se que dentre todos os estados não foram encontrados nenhum do estado (30.0 – 31.0). Neste sentido, foi criado as faixas e sua matriz de transição conforme:

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

**Tabela 1. Contagem de Transições para Calcular as Probabilidades da Temperatura**

	[24.0 - 25.0]	[25.0 - 26.0]	[26.0 - 27.0]	[27.0 - 28.0]	[28.0 - 29.0]	[29.0 - 30.0]	[30.0 - 31.0]	[31.0 - 100.0]
[24.0 - 25.0]	25	0	1	0	0	0	0	0
[25.0 - 26.0]	0	47	2	0	0	0	0	0
[26.0 - 27.0]	0	0	175	1	0	3	0	0
[27.0 - 28.0]	0	1	0	100	2	0	0	0
[28.0 - 29.0]	1	0	0	2	97	1	0	0
[29.0 - 30.0]	0	0	1	0	2	92	0	1
[30.0 - 31.0]	0	0	0	0	0	0	0	0
[31.0 - 100.0]	0	0	0	0	0	0	0	51

Fonte: Autoral (2023)

**Tabela 2. Matriz de Transição da Temperatura**

	[24.0 - 25.0]	[25.0 - 26.0]	[26.0 - 27.0]	[27.0 - 28.0]	[28.0 - 29.0]	[29.0 - 30.0]	[30.0 - 31.0]	[31.0 - 100.0]
[24.0 - 25.0]	96,15%	0,00%	3,85%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[25.0 - 26.0]	0,00%	95,92%	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[26.0 - 27.0]	0,00%	0,00%	97,77%	0,56%	0,00%	1,68%	0,00%	0,00%
[27.0 - 28.0]	0,00%	0,97%	0,00%	97,09%	1,94%	0,00%	0,00%	0,00%
[28.0 - 29.0]	0,99%	0,00%	0,00%	1,98%	96,04%	0,99%	0,00%	0,00%
[29.0 - 30.0]	0,00%	0,00%	1,04%	0,00%	2,08%	95,83%	0,00%	1,04%
[30.0 - 31.0]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[31.0 - 100.0]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Fonte: Autoral (2023)

## 5.2. Umidade

Uma observação das mudanças de estado referente a umidade, criados 9 diferentes estados de transição, sendo que a umidade mais baixa registrada foi de 57%, e mais alta 81% aproximadamente. Neste sentido, foi criado as faixas e sua matriz de transição conforme:

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

**Tabela 3. Contagem de Transições para Calcular as Probabilidades da Umidade**

	[0 - 62.5]	[62.5 - 65.0]	[65.0 - 67.5]	[67.5 - 70.0]	[70.0 - 72.5]	[72.5 - 75.0]	[75.0 - 77.5]	[77.5 - 80.0]	[80.0 - 100]
[0 - 62.5]	58	1	0	0	0	0	0	0	0
[62.5 - 65.0]	1	35	1	1	0	0	0	0	0
[65.0 - 67.5]	0	1	115	2	0	0	0	2	0
[67.5 - 70.0]	1	0	3	103	1	0	0	0	0
[70.0 - 72.5]	0	0	0	0	50	2	0	1	0
[72.5 - 75.0]	0	0	1	1	2	104	4	0	0
[75.0 - 77.5]	0	0	0	0	0	4	10	0	0
[77.5 - 80.0]	0	1	0	1	0	1	0	75	0
[80.0 - 100]	0	0	0	0	0	1	0	0	22

Fonte: Autorial (2023)

**Tabela 4. Matriz de Transição da Umidade**

	[0 - 62.5]	[62.5 - 65.0]	[65.0 - 67.5]	[67.5 - 70.0]	[70.0 - 72.5]	[72.5 - 75.0]	[75.0 - 77.5]	[77.5 - 80.0]	[80.0 - 100]
[0 - 62.5]	98,31%	1,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[62.5 - 65.0]	2,63%	92,11%	2,63%	2,63%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[65.0 - 67.5]	0,00%	0,83%	95,83%	1,67%	0,00%	0,00%	0,00%	1,67%	0,00%
[67.5 - 70.0]	0,93%	0,00%	2,78%	95,37%	0,93%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[70.0 - 72.5]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	94,34%	3,77%	0,00%	1,89%	0,00%
[72.5 - 75.0]	0,00%	0,00%	0,89%	0,89%	1,79%	92,86%	3,57%	0,00%	0,00%
[75.0 - 77.5]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	28,57%	71,43%	0,00%	0,00%
[77.5 - 80.0]	0,00%	1,28%	0,00%	1,28%	0,00%	1,28%	0,00%	96,15%	0,00%
[80.0 - 100]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	4,35%	0,00%	0,00%	95,65%

Fonte: Autorial (2023)

### 5.3. Determinando o vetor de estado inicial da temperatura

Durante o estudo, o período mostra 8 faixas. A probabilidade de ocorrência dessas faixas pode ser obtida pela contagem dos 606 dados de temperatura. O vetor inicial é indicado por  $\pi(0)$  e dado por  $\pi(0) = (\pi(1), \pi(2), \pi(3), \dots, \pi(8))$ . Então,

$$\begin{aligned}
 \pi(1) &= 26/606 = 4,29\% \\
 \pi(2) &= 49/606 = 8,09\% \\
 \pi(3) &= 179/606 = 29,54\% \\
 \pi(4) &= 103/606 = 17,00\% \\
 \pi(5) &= 101/606 = 16,67\% \\
 \pi(6) &= 96/606 = 15,84\% \\
 \pi(7) &= 0/606 = 0,00\% \\
 \pi(8) &= 52/606 = 8,58\%
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



#### 5.4. Determinando o vetor de estado inicial da umidade

Durante o estudo, o período mostra 9 faixas. A probabilidade de ocorrência dessas 9 faixas pode ser obtida pela contagem dos 606 dados de temperatura. O vetor inicial é indicado por  $\psi(0)$  e dado por  $\psi(0) = (\psi(1), \psi(2), \psi(3)..., \psi(9))$  para umidade. Então,

$$\begin{aligned}
 \psi(1) &= 60/606 = 9,90\% \\
 \psi(2) &= 38/606 = 6,27\% \\
 \psi(3) &= 120/606 = 19,80\% \\
 \psi(4) &= 108/606 = 17,82\% \\
 \psi(5) &= 23/606 = 8,75\% \\
 \psi(6) &= 112/606 = 18,48\% \\
 \psi(7) &= 14/606 = 2,31\% \\
 \psi(8) &= 78/606 = 12,87\% \\
 \psi(9) &= 23/606 = 3,80\%
 \end{aligned} \tag{2}$$

#### 5.5. Cálculo das probabilidades de estado da Temperatura e Umidade

O modelo de Cadeias de Markov sugere que, a probabilidade de estado por vários períodos pode ser obtido pela multiplicação da probabilidade da matriz de transição e o vetor de estado inicial  $\psi(i + 1) = \psi(i) \cdot P$ . Onde,  $\psi(i)$  é o vetor estado para estado  $i$  e  $P$  é a probabilidade da matriz de transição.

Neste sentido, o vetor para umidade no tempo  $\psi(1) = (10,06\%, 6,27\%, 19,89\%, 17,82\%, 8,75\%, 18,48\%, 2,31\%, 12,87\%, 3,63\%)$ . E o vetor para temperatura no tempo  $\pi(1) = (4,29\%, 7,98\%, 29,54\%, 17,00\%, 16,67\%, 15,84\%, 0,00\%, 8,75\%)$ .

Quando um processo Markoviano é capaz de ir de qualquer estado para outro, atinge assim a condição de regime estacionário e descrito como matriz ergódica. Então para atingir o estado estacionário na presente pesquisa foi multiplicado a matriz de transição em um número relativamente alto de vezes com o auxílio computacional e a linguagem de programação em Python e a única matriz que houve estado estacionário foi a matriz de umidade com o vetor  $\psi = (23,62\%, 9,04\%, 19,72\%, 17,54\%, 6,28\%, 10,81\%, 1,35\%, 11,63\%, 0,00\%)$ .

Nota-se que como não foram encontrados nenhuma informação de temperatura do estado (30.0 – 31.0) e assim a temperatura não encontrou estado estacionário, tendo em vista que não foi capaz de realizar uma transição de estado para o outro.

#### 5.6. Discussão

Partindo do ponto do estado estacionário da matriz de umidade, dentro dessas condições se pode afirmar que a umidade de faixa (0 – 62.5) é que possui maior probabilidade de 23,62% de permanecer nessa faixa ao longo desses períodos e de acordo com o estado inicial houve um

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

aumento já que na faixa inicial eram 9,90%. Nesta perspectiva, ao verificar os estados iniciais com o resultado estacionário se pode notar que as faixas com menores índices são as que aumentaram, ou seja, a umidade terá uma maior probabilidade de estar abaixo de 70% de umidade.

Apesar dos índices de temperatura não entrarem em estado estacionário, e utilizando a mesma quantidade computacional para estado de ergodicidade da umidade, as faixas que tendem aumentar as probabilidades de ocorrerem ficam entre (28 – 31+) e que são as últimas faixas. Quanto maior o número de iterações maiores fica as faixas de temperatura.

## 5. Conclusões

O modelo de Cadeias de Markov para analisar comportamento da temperatura e umidade mostra que é completamente afetado por fatores estocásticos. O movimento de aumento e diminuição tanto da temperatura e umidade ocorrem de forma lenta. A predição do comportamento da temperatura e umidade é muito complicado por causa de inúmeros fatores como localidade, se ambiente é aberto ou fechado. Tais fatores que podem trazer informações que não são fidedignas. Dada tal complexidade é muito melhor tomar decisões para coletas de campo em suas respectivas pesquisas com probabilidades calculadas por Cadeias de Markov.

Este estudo de Cadeias de Markov é aplicado para prever o comportamento da temperatura e umidade. Os resultados são expressos em termos de probabilidade de um certo estado de temperatura e umidade no futuro. O modelo não fornece os resultados de estado absoluto. O vetor de estado inicial e as matrizes de transição são usados para estimar os próximos passos em diferentes estados.

A pesquisa evidenciou que a matriz de transição da Temperatura tende a aumentar as probabilidades para que ocorram entre (28 a 30+) e que na umidade terá uma maior probabilidade de estar abaixo de 70% de umidade.

## 7. Referências bibliográficas

- [1] Abdul-Niby, M., Farhat, M., Abdullah, M., & Nazzal, A. (2017). A low cost automated weather station for real time local measurements. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7 (3), 1615–1618.
- [2] AZEVEDO, P. D. (1990). LEITÃO, MMVBR Aplicação de processos em cadeia de Markov às precipitações diárias no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 5(1), 389-402.
- [3] Bolson, M., Borella, L., Tomé, F., Orlandin, B., & Corso, L. (2019, 01). Aplicação de cadeias de markov para análise de variação do dólar americano.
- [4] Breinl, K., Turkington, T., & Stowasser, M. (2013). Stochastic generation of multi-site daily precipitation for applications in risk management. *Journal of Hydrology*, 498, 23-35.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

- [5] da Silva Jale, J., Júnior, S. F. A. X., Xavier, É. F. M., Stošić, T., Stošić, B., & Ferreira, T. A. E. (2019). Application of Markov chain on daily rainfall data in Paraíba-Brazil from 1995-2015. *Acta Scientiarum. Technology*, 41, e37186.
- [6] de Amorim, J. F., da Silva, A. S. A., Ximenes, P. D. S. M. P., & Menezes, R. S. C. (2019). Avaliação do inverse distance weighting para estimar a precipitação na Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco, Brasil. *Sigmae*, 8(2), 340-347.
- [7] dos Santos Marcelino, A., de Araújo, L. E., Andrade, E. C. D. A., & Alves, A. S. (2012). Avaliação Temporal da Climatologia do Litoral Norte da Paraíba (Temporal Evaluation of Climatology Northern Coast of Paraíba). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(3), 467-472.
- [8] dos Santos, F. S., do Nascimento, K. K. F., da Silva Jale, J., & Ferreira, T. A. E. (2019). Análise de Velocidade do Vento em Petrolina-PE Usando Cadeias de Markov de Ordem Superior. *Sigmae*, 8(2), 385-392.
- [9] Ferreira, C. D. C. M. (2012). ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO PERÍODO CHUVOSO EM JUIZ DE FORAMG. *Revista Geonorte*, 3(8), 953-963.
- [10] Hussein, Z. K., Hadi, H. J., Abdul-Mutaleb, M. R., & Mezaal, Y. S. (2020). Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(1), 282-288.
- [11] Keller Filho, T., Zullo Junior, J., & Lima, P. R. S. D. R. (2006). Análise da transição entre dias secos e chuvosos por meio da cadeia de Markov de terceira ordem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41, 1341-1349.
- [12] Kodali, R. K., & Mandal, S. (2016, December). IoT based weather station. In *2016 international conference on control, instrumentation, communication and computational technologies (ICCICCT)* (pp. 680-683). IEEE.
- [13] Lennartsson, J., Baxevani, A., & Chen, D. (2008). Modelling precipitation in Sweden using multiple step Markov chains and a composite model. *Journal of hydrology*, 363(1-4), 42-59.
- [14] Mousinho, F. E. P., de Andrade Júnior, A. S., Gonçalves, A. C. A., & Frizzone, J. A. (2006). Variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o Estado do Piauí. *Irriga*, 11(2), 178-187.
- [15] Piñeres-Espitia, G., Cama-Pinto, A., DE LA ROSA, D., Estevez, F., & Cama-Pinto, D. (2017). Design of a low cost weather station for detecting environmental changes.
- [16] Sousa, R. R., Antunes, J. P., & Cabral, I. (2015). Estação meteorológica experimental de baixo custo. *Geo UERJ*, (27), 80-97.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

- [17] Stern, R. D., Dennett, M. D., & Dale, I. C. (1982). Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. I. Direct methods. *Experimental Agriculture*, 18(3), 223-236.