



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM CIÊNCIAS  
DA TERRA E DO AMBIENTE  
Doutorado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

Tese de doutorado

$DMC_x^2$  e aprendizado de máquina aplicados à análise  
de dados se séries temporais do clima

Apresentada por: Fernando Ferraz Ribeiro  
Orientador: Gilney Figueira Zebende  
Co-orientador: Juan Alberto Leyva Cruz

maio de 2023

Fernando Ferraz Ribeiro

# $DMC_x^2$ e aprendizado de máquina aplicados à análise de dados se séries temporais do clima

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Curso de Doutorado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA, como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Modelagem em Ciências Ambientais**.

Área de conhecimento: Estudos Ambientais e Geotecnologias

Orientador: Dr. Gilney Figueira Zebende

*UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA*

Co-orientador: Dr. Juan Alberto Leyva Cruz

*UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA*

---

## Nota sobre o estilo do PPGM-UEFS

---

Esta tese de doutorado foi elaborada considerando as normas de estilo propostas e aprovadas pelo colegiado do Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente e estão disponíveis no formato eletrônico (<http://ppgm.uefs.br/banco-de-dissertacoes>) ou no formato impresso para consulta.

# UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

Doutorado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

A Banca Examinadora, constituída pelos professores listados abaixo, leu e recomenda a aprovação da Tese de doutorado, intitulada “ $DMC_x^2$  e aprendizado de máquina aplicados à análise de dados se séries temporais do clima”, apresentada no dia (dia) de (mês) de (ano), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Modelagem em Ciências Ambientais**.

Orientador:

---

Prof. Dr. Gilney Figueira Zebende

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Co-Orientador:

---

Prof. Dr. Juan Alberto Leyva Cruz

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Membro externo da Banca:

---

Prof. Dr. Ciclano

INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA

Membro externo da Banca:

---

Profa. Dra. Fulana

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Membro interno da Banca:

---

Prof. Dr. Fulano

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Membro interno da Banca:

---

Profa. Dra. Beltrana

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Dedico este trabalho a...

---

## Agradecimentos

---

Ao Prof. Dr. Gilney Figueira Zebende , pela orientação e dedicação ao tema escolhido, e por ter acreditado na pesquisa .

Ao Prof. Dr. Fulano de Tal.

Ao colega João Paulo, por ter me ensinado a usar o  $\text{\LaTeX}$ .

A UEFS e ao PPGM pelos recursos proporcionados para a elaboração da pesquisa

Feira de Santana, BA, Brasil  
15 de maio de 2023

Fernando Ferraz Ribeiro

---

## Resumo

---

Escreva aqui o seu resumo em português.

**Palavras Chaves:** Séries Temporais, Clima ,  $DMC_x^2$  ,  $\rho_{DCCA}$  , Ciência de Dados, Aprendizado de Máquina

---

## Abstract

---

Write here your abstract in english.

**Keywords:** Time Series, Climate,  $DMC_x^2$  ,  $\rho_{DCCA}$  , Data Science, Machine Learning



---

## Sumário

---

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Definição do problema . . . . .	2
1.1.1	Objeto de estudo . . . . .	2
1.2	Objetivos . . . . .	2
1.3	Importância da Pesquisa . . . . .	2
1.4	Limites e Limitações . . . . .	2
1.5	Questões e Hipóteses . . . . .	2
1.6	Aspectos Metodológicos . . . . .	2
1.7	Organização da Tese . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Resultados e Conclusões</b>	<b>5</b>
<b>A</b>	<b>Anexo I</b>	<b>6</b>
	<b>Referências</b>	<b>7</b>

---

## Lista de Tabelas

---

---

## Lista de Figuras

---

---

## Lista de Quadros

---

---

## Lista de Algoritmos

---

---

## Lista de Siglas

---

UEFS .....	Universidade Estadual de Feira de Santana
PPGM .....	Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
CAPES .....	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DCCA .....	<i>Detrended Cross-Correlation Analysis</i>
DFA .....	<i>Detrended Fluctuation Analysis</i>
$DMC_x^2$ .....	<i>Detrended Multiple Cross-Correlation Coefficient</i>
$\rho_{DCCA}$ .....	<i>Detrended Cross-Correlation Coefficient</i>

## Introdução

---

“Ordinary life is pretty complex stuff.”  
(Harvey Pekar)

Os sistemas complexos compreendem um campo interdisciplinar da ciência que não possui uma definição exata. Este campo procura estudar numericamente um conjunto amplo de fenômenos não determinísticos, formados pela contribuição de um conjunto (geralmente grande) de componentes (muitas vezes simples) que, interagindo, estruturam-se de forma auto-organizada, gerando resultados inesperados, que não podem ser previstos pelos estudos estatísticos e/ou matemáticos tradicionais dos elementos formadores do sistema.

Na área dos estudos ambientais, os sistemas complexos possuem diversas aplicações: sistemas de transportes, redes de energia e comunicação, organizações sociais e econômicas, densidade e ocupação humana do espaço, dentre outras. Os estudos do clima ocupam um espaço de particular relevância na intercessão entre os estudos ambientais e os sistemas complexos. Em 2021 a Academia Real das Ciências da Suécia concedeu metade do Prêmio Nobel de Física para Syukuro Manabe e Klaus Hasselmann, cujos estudos apresentam modelos complexos para a análise do clima. Em particular apontam uma correlação entre as emissões de dióxido de carbono e as mudanças climáticas.

A aquisição, manipulação, gestão, armazenamento e criação de valor a partir de dados, através de ambientes computacionais, tem-se apresentado como um novo paradigma tecnológico. Um campo do conhecimento que recebeu a denominação de Ciência de Dados, conceito que envelopa alguns termos frequentemente associados à inovação científica, técnica e social como *Big Data*, mineração de dados, *Business Intelligence* internet das coisas, inteligência artificial e aprendizado de máquina(AM), dentre outros ([EMC EDUCATION SERVICE, 2015](#), p. 12-13).

As séries temporais são definidas como um conjunto de observações (numéricas ou categóricas) ordenado no tempo. Embora muitos dos dados que descrevem as dinâmicas espaciais podem ser registrados na forma de séries temporais (abastecimento de água nas tubulações, consumo de energia elétrica nos imóveis, fluxos de pessoas e veículos pela cidade, casos de uma doença por dia, etc.), contudo as técnicas de medição de correlações, bem como a devida exploração destas para inferir novos conhecimentos, permanecem como perguntas abertas em muitas sub-áreas das ciências ambientais([BERMUDEZ-EDO; BARNAGHI; MOESSNER, 2018](#)).

## ***1.1 Definição do problema***

### ***1.1.1 Objeto de estudo***

## ***1.2 Objetivos***

## ***1.3 Importância da Pesquisa***

## ***1.4 Limites e Limitações***

## ***1.5 Questões e Hipóteses***

## ***1.6 Aspectos Metodológicos***

## ***1.7 Organização da Tese***



## Fundamentação Teórica

---

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

## Metodologia

---

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

---

## Resultados e Conclusões

---

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consectetur a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consectetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

## **Anexo I**

---

Aqui pode ser um Título do seu Anexo

Texto do Anexo.

---

## Referências Bibliográficas

---

BERMUDEZ-EDO, M.; BARNAGHI, P.; MOESSNER, K. Analysing real world data streams with spatio-temporal correlations: Entropy vs. Pearson correlation. *Automation in Construction*, v. 88, n. May 2017, p. 87–100, 2018. ISSN 09265805. 1

EMC EDUCATION SERVICE. *Data Science and Big Data Analytics: Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data*. 1. ed. Indianapolis, Indiana, USA: JOHN WILEY & SONS, 2015. 425 p. ISBN 978-1-118-87605-3,1118876059,978-1-118-87613-8,111887613X,978-1-118-87622-0,1118876229. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Data-Science-Big-Analytics-Discovering/dp/111887613X?tag=kns00-20&ascsubtag=74e9089d-4ac5-40a9-9479-8b3080b9b601https://books.google.com.br/books?id=J94WBgAAQBAJ>. 1

*DMC<sub>x</sub><sup>2</sup> e aprendizado de máquina aplicados à análise de dados de séries temporais do clima*

Fernando Ferraz Ribeiro

Feira de Santana, BA, maio de 2023.