



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA
COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS

JOÃO VITALIANO DE CARVALHO ROCHA

**MODELAGEM DE DADOS METEOROLÓGICOS DA
CIDADE DO RECIFE UTILIZANDO A
METODOLOGIA DA ANÁLISE DE SÉRIES
TEMPORAIS**

Recife

2011

JOÃO VITALIANO DE CARVALHO ROCHA

**MODELAGEM DE DADOS METEOROLÓGICOS DA
CIDADE DO RECIFE UTILIZANDO A
METODOLOGIA DA ANÁLISE DE SÉRIES
TEMPORAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção do título de **Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Linha de Pesquisa: Modelagem e Controle de Processos.

Orientador: Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos

Recife

□□1

□□

**MODELAGEM DE DADOS METEOROLÓGICOS DA CIDADE DO RECIFE
UTILIZANDO A METODOLOGIA DA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS**

João Vitaliano de Carvalho Rocha

Examinadores:

Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos
Universidade Católica de Pernambuco- UNICAP
(Orientador)

Prof. Dr. Carlos Costa Dantas
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/PE

Prof. Dr. Sérgio Murilo Maciel Fernandes
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Suplentes:

Prof^a. Dr^a. Eliane Cardoso Vasconcelos
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Universidade de Pernambuco – UPE/PE

DEDICO a Jesus o grande norteador da minha vida sem o qual nada teria feito até hoje, à esposa e filhos e às minhas irmãs por tudo que fizeram por mim e ao Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos pelos ensinamentos, carinho e dedicação a mim dispensados durante o nosso convívio..

“A maneira de ajudar os outros é provar-lhes que eles são capazes de pensar”.

Dom Helder Câmara

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela oportunidade da vida e pela sua presença sempre marcante em todos os momentos;

Aos meus pais Manoel Vitaliano de Carvalho Rocha e Orlandina Vieira de Carvalho Rocha pelo estímulo ao estudo, dedicação, educação e amor dispensados sempre;

Aos meus familiares e em especial às minhas irmãs pelo amparo, dedicação, companheirismo, tolerância e amizade sempre presentes em todos os momentos da minha vida.

À minha esposa e aos meus filhos por terem me dado forças para continuar.

Ao Prof.Dr. Valdemir Alexandre dos Santos por ter me recebido em condições adversas e ter me ajudado a criar um trabalho de responsabilidade em poucos meses. É na qualidade de seu orientando que expresso neste momento a minha profunda gratidão pelos ensinamentos e exemplo de vida que a mim foram dedicados durante o nosso período de estudo.

À Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), na pessoa do seu Reitor Prof. Dr. Pe Pedro Rubens Ferreira Oliveira pela excelência nas áreas de ensino e pesquisa, o que muito contribuiu para minha formação;

A todos os meus colegas do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais..

À Profª Drª Aline Elesbão do Nascimento pelo carinho e dedicação e pelas aulas de excelente qualidade ministradas durante o curso;

À professora Drª. Eliane Cardoso de Vasconcelos pela dedicação, pelo apoio e amizade nos momentos mais difíceis;

Ao Prof. Dr. Francisco Luiz dos Santos pelo belo exemplo de vida e pelos bons tempos de convivência.

Ao Prof. Dr. Célio Costa Souto Maior o meu “muito obrigado” pela amizade e ajuda na organização dos dados para a elaboração dos gráficos.

Aos Professores do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos, Prof^a Dra. Aline Elesbão do Nascimento, Prof^a. Dr^a. Eliane Cardoso Vasconcelos, Prof^a Dr^a Galba Takaki pelos ensinamentos e bons momentos;

Aos meteorologistas do INMET/Recife Sr. Raimundo Jaildo dos Santos Coordenador do III Distrito de Meteorologia e Sr. Ednaldo Correia de Araújo por todas as informações prestadas para elaboração deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia/Brasília por ter concedido os dados da cidade do Recife sem os quais este trabalho não poderia existir.

À Coordenação de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa para realização da pesquisa.

Aos funcionários e a todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus queridos benfeitores espirituais a minha eterna gratidão pelo carinho e devoção dispensados a mim em todos os momentos.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
SUMÁRIO	ix
LISTA DE FIGURAS	Xii
LISTA DE TABELAS	Xv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO 1	17
1.1 Introdução	18
1.2 Objetivos	21
1.2.1 Objetivo Geral	21
1.2.2 Objetivos Específicos	21
1.3 Revisão da Literatura	22
1.3.1 Preliminares	22
1.3.2 Fenômeno Típico de Séries Temporais	22
1.3.3 Modelos de Regressão	24
1.3.4 Análises de Precisão dos Dados previstos por uma Série	29
1.3.5 Clima	31
1.3.6 Mudanças Climáticas	32
1.3.7 Regimes Pluviométricos	36
1.3.8 Temperatura do Ar	39
1.3.9 Aumento na Temperatura Global e Continental	40
1.3.10 Futuro Aumento na Temperatura Global	46
1.3.11 Uma década de elevação na Temperatura Global	51
1.3.12 Umidade Relativa do Ar	53
1.3.13 Eventos Climáticos Extremos	54
1.4 Referências Bibliográficas	57

CAPÍTULO 2	64
Modelagem Estatística de Dados Meteorológicos	64
2.1 Resumo	64
2.2 Abstract	65
2.3 Introdução	66
2.4 Material e Métodos	67
2.4.1 Metodologia Utilizada para Análise das Séries	67
2.4.1.1 Características Básicas de uma Série Temporal	67
2.4.1.2 Parâmetros Meteorológicos Utilizados	69
2.4.1.3 Procedimentos de Análise	70
2.4.1.4 Índices de Sazonalidade	73
2.5 Resultados e Discussão	74
2.5.1 Temperatura Média Compensada Mensal	75
2.5.2 Temperatura Máxima Média Mensal	78
2.5.3 Temperatura Mínima Média Mensal	82
2.5.4 Precipitação Média Mensal	85
2.5.5 Umidade Relativa do Ar	89
3 Conclusão	97
4 Referências Bibliográficas	98
Apêndice 1	101
Anexos 1	121

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 – Série com Tendência de Crescimento Linear	23
Figura 2 – Dados sobre surtos de diferentes gripes	24
Figura 3 – Gráfico da Sazonalidade com efeito aditivo	28
Figura 4 – Gráfico da Sazonalidade com efeito multiplicativo	29
Figura 5 – Médias mensais de Precipitação em Recife	37
Figura 6 – Mudança de Temperatura Global e Continental	41
Figura 7 – Diferenças no Aquecimento Global	43
Figura 8 – Localização das Estações Climáticas dados de Precipitação	44
Figura 9 – Localização das Estações Climáticas dados de Temperatura Média	45
Figura 10 – Localização das Estações Climáticas dados de Temperatura	45
Figura 11 -Cenário detalhado do aumento da Temperatura	47
Figura 12 -Projeção da Temperatura no Globo	48
Figura 13 -Médias mensais da Temperatura do Ar	50
Figura 14 -Gráfico representativo da Anomalia Térmica Global	50
Figura 15 -Gráfico representativo dos anos mais quentes	53
Figura 16 -Média mensal de Umidade Relativa do Ar	54
Figura 17 -Catástrofes Naturais no Mundo	55

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.3.1 Temperatura Média Compensada com Linha de Tendência	75
Figura 2.3.2 Temperatura Média Compensada ajustada pelas Médias Móveis	75
Figura 2.3.3 Temperatura Média Compensada com ajuste Exponencial	76
Figura 2.3.4 Temperatura Máxima Tendência por Regressão Linear	78
Figura 2.3.5 Temperatura Máxima com ajustada por Média Móvel Simples	79
Figura 2.3.6 Temperatura Máxima ajustada pela Média Móvel Exponencial	79
Figura 2.3.7 Temperatura Mínima com Linha de Tendência	82

Figura 2.3.8 Temperatura Mínima ajustado pelas Médias Móveis	82
Figura 2.3.9 Temperatura Mínima ajustada pela Média Móvel Exponencial	83
Figura 2.3.10 Precipitação com Linha de Tendência	85
Figura 2.3.11 Precipitação ajustada pelas Médias Móveis	86
Figura 2.3.12 Precipitação ajustada pela Média Móvel Exponencial	86
Figura 2.3.13 Umidade Relativa do Ar com Linha de Tendência	89
Figura 2.3.14 Umidade Relativa do Ar ajustado pelas Médias Móveis	90
Figura 2.3.15 Umidade Relativa do Ar ajustado pelas Médias Móveis Exponencial	90

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 Eventos relacionados às chuvas nas cinco regiões brasileiras	38
Tabela.2 Eventos relacionados às chuvas nas cinco regiões brasileiras	52

Capítulo 2

Tabela 2.1 – Representação das Médias e Índices Sazonais da TMCM	77
Tabela 2.2 – Diferenças da TMCM entre décadas	77
Tabela 2.3 – Diferenças entre décadas de Temperatura Máxima	80
Tabela 2.4 – Índices Sazonais da TMáxMMensal	81
Tabela 2.5 – Médias e Índices Sazonais de TMínMM	84
Tabela 2.6 – Temperatura Mínima diferença entre décadas	84
Tabela 2.7 – Médias e Índices Sazonais de Precipitação	87
Tabela 2.8 – Precipitação diferença entre décadas	88
Tabela 2.9 – Médias e Índices Sazonais da Umidade Relativa	91
Tabela 2.10 – Diferenças entre décadas da Umidade Relativa	92
Tabela 2.11 – Médias Anuais das Variáveis Climatológicas	93
Tabela 2.12 – Erro Percentual Média Absoluto dos Modelos Propostos	94

Tabela13 – Previsões Meteorológicas para a cidade do Recife em 2010	95
Tabela14 – - Valores de parâmetros meteorológicos simulados (MME) e medidos (INMET) para o Recife em 2010	96

LISTA DE SIGLAS

- IPCC** – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
- INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- GEA** – Grupo de Eletricidade Atmosférica
- mPA** – Massa Polar Atlântica
- MAPA** – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
- NASA** – Administração Nacional Aeronáutica e Espacial
- NCDC** – National Climate Data Center
- NOAA** – Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
- OMM** – Organização Meteorológica Mundial
- ODP** – Organização Decadal do Pacífico
- ONU** – Organização das Nações Unidas
- POAs** – Perturbações Ondulatórias dos Alísios
- TMG** – Tempo Médio de Greenwich
- TMCM** – Temperatura Média Compensada Mensal
- TMINMM** – Temperatura Mínima Média Mensal
- TMAXMM** – Temperatura Máxima Média Mensal
- ZCIT** – Zona de Convergência Intertropical
- VCAS** – Vórtice Ciclônico de Ar Superior
- ODL** – Ondas do Leste
- ARMA** – Modelo Auto-regressivos que incorporam Médias Móveis
- AR** – Modelos Auto-regressivos
- ARIMA** - Modelos Auto-regressivos que incorporam Médias Móveis
- SARIMA** – Modelos Auto-regressivos que incorporam a Sazonalidade

RESUMO - Foram utilizados modelos estatísticos com base na metodologia de análise de séries temporais. As técnicas de regressão linear e médias móveis permitiram a identificação de tendências, sazonalidade e aleatoriedade, de médias mensais de parâmetros meteorológicos da cidade do Recife, capital do Estado de Pernambuco. Foram utilizadas séries históricas, abrangendo um período de dezenove anos, de janeiro de 1989 a dezembro de 2009, relativas a valores médios mensais de temperatura compensada, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação e umidade relativa. Os estudos sobre mudanças climáticas globais e regionais têm chamado a atenção, não apenas da comunidade científica na última década, mas também do público em geral. O conhecimento antecipado das condições climáticas pode ajudar a sociedade a evitar desperdícios de recursos humanos e materiais, de forma que se possa adequar a programação de atividades, com base na previsão de demandas que dependam dessas condições climáticas. As médias de temperatura média compensada, temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação média apresentaram tendências positivas caracterizando para a cidade do Recife, uma discreta alteração climática, mais evidente na segunda década do período estudado. Durante os 19 anos do período escolhido para a presente pesquisa, o evento climático El Niño ocorreu 9 vezes fazendo com que boa parte da comunidade científica atribua a este fenômeno a provável responsabilidade das anomalias climáticas observadas nas últimas décadas.

Palavras-Chaves

Séries Temporais, Parâmetros Meteorológicos, Mudanças Climáticas Globais, Tendência

ABSTRACT – Models based on the statistical techniques of time series were used to identification of trends, seasonality and randomness in monthly averages of the meteorological parameters of Recife city. To analyses trends it is possible to adjust linear regression and moving averages models. Were used time series data, covering a period of nineteen years, from January 1989 to December 2009, on the average monthly temperature compensated, maximum temperature, minimum temperature, precipitation and relative humidity. Studies on regional and global climate change have drawn attention not only of the scientific community over the last decade, but also the general public. Advance knowledge of weather conditions can help society avoid wasting human and material resources, so it can adjust the schedule of activities, based on forecast demands that depend on these weather conditions. Compensated average temperature, maximum temperature, minimum temperature and rainfall showed positive trends for characterizing the city of Recife, a mild climate change, most evident in the second decade of the studied period. During the 19 year period chosen for this study, the El Nino weather event occurred 9 times causing much of the scientific community to give this phenomenon the probable liability of climate anomalies observed in recent decades.

Keywords

Time Series, Statistical models, Moving series, Trends, Seasonality.

Capítulo I - REVISÃO DA LITERATURA

1.1 INTRODUÇÃO

Uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações de uma variável dispostas seqüencialmente no tempo (BOX, 2008). A variável é observada em pontos temporais discretos, usualmente eqüidistantes, e a análise de tal comportamento temporal envolve a descrição do processo ou fenômeno que gera a seqüência.

Dessa forma, o aumento do valor diário da concentração de ozônio na ar de São Paulo, o índice pluviométrico, umidade relativa do ar, o preço da soja, número de óbitos por câncer no Rio Grande do Sul, entre outras grandezas, são exemplos de variáveis quantitativas que mudam seu valor com o passar do tempo, que pode ter a unidade de horas, dias, mês, anos de acordo com o objetivo do estudo (LATORRE, 2001).

A análise de séries temporais baseia-se na idéia de que dados relacionados com acontecimentos no passado possam ser usados para prever fenômenos no futuro, ou seja, a tendência que o gerou no passado continuará gerando-o no futuro. De forma mais técnica, equivale dizer que o processo estocástico gerador das observações passadas gerará, em continuidade, observações no futuro.

De acordo com Soncin (2003) a análise de séries temporais é uma área da Estatística dedicada ao estudo de observações que apresentam dependência no tempo e surgem nas mais variadas áreas de aplicação, como: Finanças, Marketing, Segurança, Meteorologia, Ciências Econômicas, Ciências Sociais, Energia, Medicina, Engenharia, Meteorologia, entre outras. Ainda, segundo o mesmo autor, sua grande importância no momento é porque identifica a natureza do fenômeno representado pela seqüência de observações quando procura um padrão de comportamento, por prever a evolução futura da variável da série temporal através de um modelo matemático que descreva o comportamento das observações quando avalia a precisão das previsões, por estabelecer estratégias e por rever as decisões tomadas e repensar a planificação.

Uma das principais características a ser desenvolvida pelos alunos da Linha de Pesquisa em Modelagem, Simulação e Controle de Processos é o raciocínio preditivo. Nesse ponto, a informática é essencial, pois coloca à disposição do pesquisador

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

diferentes cenários tornando-se imprescindível. Contudo, não é fácil trabalhar com uma linguagem computacional complexa, principalmente para alunos que não vêm da área de Engenharia, uma vez que isso solicita do usuário a digitação de linhas de códigos no pouco tempo disponível, além de que a maioria dos docentes não as usam em suas aulas. A existência de pacotes comercialmente disponíveis como *Aspen-Hysys*, *Design II*, *CHEMCAD* e outros, têm o mérito de permitir ao aluno e ao professor um maior tempo de reflexão sobre os resultados, mas são mais eficientes quanto já existe uma sensibilidade formada associada ao analista.

A planilha eletrônica *Excel* da *Microsoft*® pode ser uma introdução adequada às atividades de simulação. As vantagens associadas são (BLOCH, 2004):

- de uma forma ou de outra a maioria dos alunos e professores a utilizam;
- a maioria das empresas possuem;
- ao contrário do que a maioria pensa é uma poderosa ferramenta de programação;
- uma verdadeira introdução à maioria das demais linguagens;
- custo relativamente baixo;
- simplicidade de uso e disponibilidade;
- possui interface gráfica que atende às principais necessidades do usuário e;
- facilita o aprendizado de fundamentos e solução de modelos complexos sem a necessidade de se digitar linhas de códigos.

A identificação de alterações climáticas nos registros meteorológicos é de grande importância para os estudos de Epidemiologia, uma vez que tanto as simulações como as aplicações da teoria da probabilidade são realizadas com a hipótese de que as séries históricas são homogêneas, isto é, não apresentem tendências. A tendência climática é entendida como uma alteração suave do clima, com acréscimo ou decréscimo nos valores médios das variáveis analisadas, no período de registro (TOMÉ, 2001).

Conhecer o comportamento dessas variáveis é muito importante no processo de decisão, pois ajudará em um planejamento gerencial e até estratégico para dar início a novos empreendimentos a partir do conhecimento futuro dos acontecimentos. As séries temporais são analisadas a partir de seus principais movimentos descritos como: tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias (OLIVEIRA, 2008).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

O clima de uma região é determinado pelos padrões observados de temperatura máxima, temperatura mínima, quantidade de chuvas, ventos, umidade do ar, neblina, tipos de nuvem e eventual ocorrência de tempestade e ciclones e depende de alguns fatores como, a que distância essa região está do oceano, correntes marítimas que passam por esta região, massas de ar que costumam passar pela região, se a área é plana ou montanhosa, a altitude em relação ao nível do mar e duração do período diurno ao longo do ano (CANTO, 2004).

Em níveis continentais e regionais, numerosas mudanças de longo termo, nas condições climáticas, têm sido observadas. Tais variações incluem mudanças na temperatura, na quantidade de precipitações pluviais, padrões de direção e força dos ventos e umidade relativa do ar (RIBEIRO, 2007). Portanto, ainda segundo o mesmo autor, a identificação de mudanças no comportamento dessas variáveis, faz parte de qualquer estratégia que vise apoiar medidas preventivas ou corretivas de adaptação da qualidade de vida do homem aos novos parâmetros climáticos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento do clima na Cidade do Recife com auxílio da metodologia das séries temporais, aplicada a dados de: temperatura média compensada mensal, temperatura mínima, temperatura máxima, umidade relativa do ar e índice pluviométrico, para identificação de oscilações sazonais, os quais poderão ser utilizados como ferramenta de apoio à formulação de possíveis estratégias, na busca de melhores condições de qualidade de vida, minimizando impactos negativos, na maioria das vezes gerados por atividades antrópicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Coletar dados meteorológicos da Cidade do Recife, junto a órgãos governamentais responsáveis;
- Detectar possíveis ocorrências de fenômenos de interesse, para caracterização dos dados coletados no período, utilizando métodos de análises de séries temporais.
- Quantificar a precisão dos modelos estatísticos de previsão, em relação aos dados coletados, para validar a metodologia de previsão de fenômenos meteorológicos proposta.
- Disponibilizar para a comunidade científica uma metodologia de fácil aplicação na previsão de fenômenos meteorológicos, para ser utilizada como ferramenta de elaboração de estratégias voltadas para a qualidade de vida dos habitantes da região em estudo.

1.3 REVISÃO DA LITERATURA

1.3.1 Preliminares

O conceito de séries temporais está relacionado a um conjunto de observações de uma determinada variável feita em períodos sucessivos de tempo e ao longo de um determinado intervalo (LATORRE, 2001). Ainda, segundo esse autor, na análise de uma série temporal, primeiramente deseja-se modelar o fenômeno estudado para, a partir daí, descrever o comportamento da série, fazer estimativas e, por último, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando-se definir relações de causa e efeito entre duas ou mais séries. Em geral, ao estudarmos uma série temporal estamos interessados em dois aspectos: análise e modelagem dos dados que compõem a série temporal e verificar suas características mais relevantes e suas possíveis relações com outras séries, resultando em possíveis previsões da série temporal, que a partir de valores passados encontra boas estimativas, em curto prazo, de valores futuros da referida série (HAMILTON, 1994).

O Recife, região escolhida para realização de análise de dados meteorológicos, por esse trabalho, é a capital do Estado de Pernambuco e localiza-se às margens do Oceano Atlântico. Tem um clima tropical, com alta umidade relativa do ar. Apresenta temperaturas entre 30°C a máxima e a mínima de 20°C tendo como média anual 25°C e alto índice de pluviosidade. Tem uma área de 217494 km² e população de 1,53 milhões de pessoas, ou 3,73 milhões, contando com a área metropolitana (SEPLAN, 2010).

1.3.2 Fenômenos Típicos de Séries Temporais

Boa parte das séries temporais têm características típicas, as principais são:

I - Tendência: É um efeito de aumento ou de redução da média do valor da série a longo prazo (Figura 1).

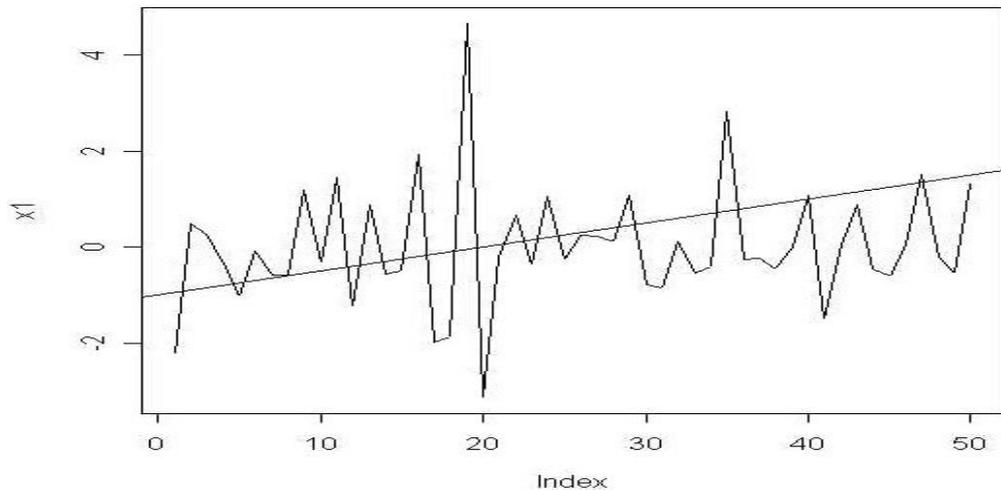


Figura 1 - A Série acima apresenta tendência de crescimento linear

Fonte: Migon (2007)

II - Sazonalidade: Efeito ligado à variações periódicas, podendo ser semanal, mensal, anual, etc. por exemplo, a temperatura média em uma região varia para mais no verão e diminui no inverno.

III) Ciclos: variações que apesar de periódicas não são associadas automaticamente a nenhuma medida temporal. Por exemplo, ciclos econômicos (5 e 7 anos) e ciclos de epidemias (Figura 2). Uma das tarefas mais importantes em estatística é identificar esses ciclos componentes visando a decomposição da série estudada.

Uma série temporal, também denominada série histórica, é uma seqüência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico (KASNIER, 1982). Na análise de uma série temporal, primeiramente deseja-se modelar o fenômeno estudado para, a partir daí, descrever o comportamento da série, fazer estimativas e, por último, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando definir relações de causa e efeito entre duas ou mais séries. Para tanto, há um conjunto de técnicas estatísticas disponíveis que dependem do modelo definido (ou estimado para a série), bem como do tipo de série analisada e do objetivo do trabalho (BELTRÃO, 1991).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

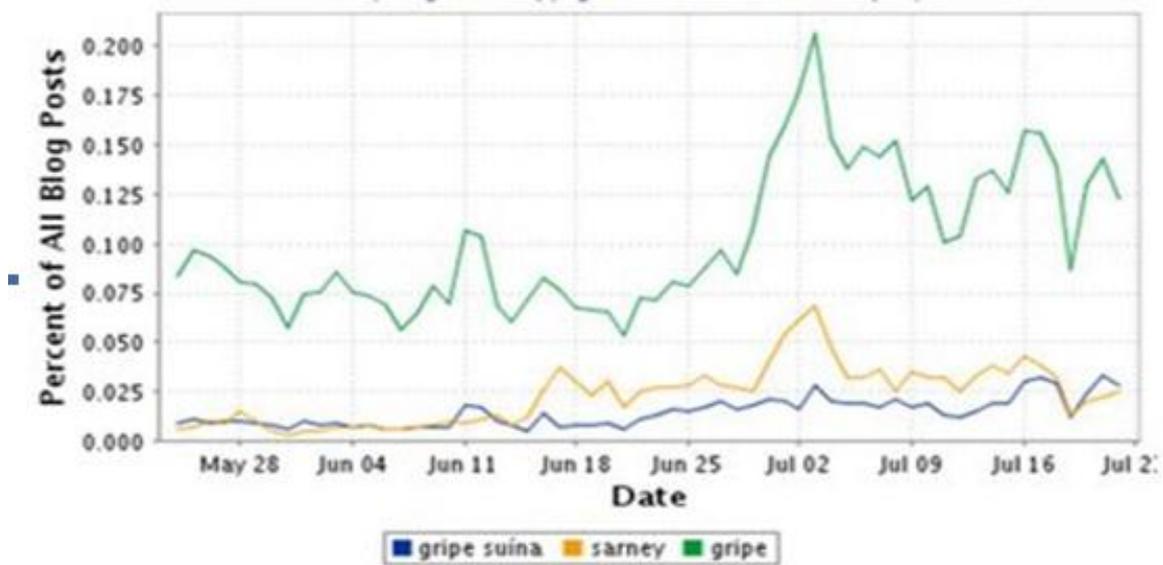


Figura 2 – Dados sobre surtos de diferentes gripes

Fonte: The Nielsen Company (2009)

1.3.3 Modelos de regressão

Uma série temporal pode ser conceituada simplesmente como qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo [MORETTIN e TOLOI, 2006]. Conhecer previamente um valor futuro pode significar a diferença entre o sucesso e o fracasso em determinadas ocasiões. Diversos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) empregam métodos que envolvem previsões de fatos e situações futuras. Dentre eles, podem ser citados: Estimativa de preços de ações na bolsa de valores, demandas de energia elétrica, previsões de temperaturas médias, precipitação e da altura das marés. Para que seja possível prever os valores futuros com base em valores passados, é necessário que se disponha de uma memória histórica de dados ocorridos anteriormente (MORETTIN e TOLOI, 2006). Todavia, o conjunto de dados, por si só, não permite a previsão dos valores futuros. Para isso, é necessária a utilização de algoritmos, técnicas ou métodos de previsão de séries temporais, que podem envolver cálculos simples ou procedimentos complexos. Existem diversos métodos para auxiliar na tarefa de previsão de séries temporais, como por exemplo: modelos de Suavização Exponencial, Média Móvel, Média Móvel ponderada, modelos auto-regressivos (AR), ARMA, ARIMA, SARIMA (RIBEIRO et al, 2009).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Para análise de tendências, podem ajustar-se modelos de regressão polinomial baseados na série inteira ou em vizinhança de um determinado ponto. Isso também pode ser realizado com funções matemáticas. Define-se como um fenômeno sazonal aquele que ocorre regularmente em períodos fixos de tempo e, se existir sazonalidade dita determinística na série, podem-se utilizar modelos de regressão que incorporem funções do tipo seno ou cosseno à variável tempo (KASNIER, 1982).

De acordo com Box, Jenkins e Reinsel (1994), os modelos auto-regressivos formam outra classe de modelos. Na análise do comportamento de uma série histórica livre de tendência e de sazonalidade podem ser utilizados modelos auto-regressivos (AR) ou que incorporem médias móveis (ARMA). Quando há tendência, utilizam-se os modelos auto-regressivos integrados de médias móveis (ARIMA) e, para incorporar o componente de sazonalidade, utilizam-se os modelos (SARIMA). Por último há os modelos lineares generalizados. Neste grupo de modelos estatísticos, a variável resposta é um processo de contagem e as variáveis independentes são variáveis candidatas a explicar o comportamento da série ao longo do tempo. Estes modelos são indicados quando as variáveis em estudo não têm aderência à distribuição normal, principalmente pelo fato de serem processos de contagem. Estes modelos compõem um grupo de distribuições de probabilidades conhecido como família exponencial de distribuições que englobam diversas funções aditivas, como a regressão linear, de Poisson, logística, log-linear etc. Os modelos aditivos generalizados são uma extensão desta classe de modelos, nos quais cada variável independente analisada não entra no modelo com o seu valor, mas sim, adotando uma função não paramétrica de forma não especificada, estimada a partir de curvas de alisamento.

. Técnicas que analisam o passado para predizer valores futuros são referidas como modelos de extrapolação. Para modelos do tipo estacionários, isto é, aqueles utilizados quando os valores da série não apresentam significativas diferenças entre seus valores durante o tempo analisado, apresenta-se a seguir alguns tipos (CARDIM, 2001; DIGGLE, 2006):

i) Média Móvel

Existem situações em que é necessário atualizar as previsões diariamente, semanalmente ou mensalmente para muitas variáveis. Entretanto, não é possível desenvolver técnicas sofisticadas de previsão para cada uma dessas variáveis. Uma solução habitual é a utilização de técnicas que utilizam médias e a hipótese base dessas técnicas é de que as flutuações nos valores passados representam flutuações aleatórias à volta de uma curva de comportamento “suave”. Uma vez identificada essa curva, pode-se projetá-la no futuro para produzir um modelo de previsão. Neste caso pode-se utilizar a média de todas as observações históricas relevantes para prever o próximo valor da variável, obtendo-se um método apropriado quando a série é bastante estável. Calcula-se então a média dos valores mais recentes e, à medida que se avança um período, é calculada uma nova média, adicionando a nova observação e descartando-se o valor mais antigo. Essa técnica de análise estatística de uma série é denominada de Média Móvel e replica de uma forma eficiente algumas séries do que quando se utilizam funções matemáticas complexas. É uma técnica apropriada quando não existe uma forte sazonalidade e/ou tendência.

Recomenda-se a técnica da Média Móvel para previsão de curto período. O valor futuro será calculado simplesmente pela média das k observações da série, ou seja:

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-k+1}}{k} \quad (1)$$

em que Y_t representa o valor experimental de Y correspondente ao período t , \hat{Y}_{t+1} representa a estimativa do valor futuro para a série no tempo $t+1$, Y_t , representa o valor da variável da série no tempo t e, Y_{t-1} , representa o valor da variável na série no período $t-1$. A escolha do número de termos (k) depende da dimensão do ciclo ou padrão presente nos dados originais. Quanto menor o k , maior o peso dado aos períodos mais recentes, desta forma, um valor menor de k é desejável quando existem alterações súbitas na série.

ii) Média Móvel Ponderada

Essa técnica é uma pequena variação da média móvel e essa diferença está na atribuição de pesos para eventos mais recentes, uma vez que se considera que o comportamento futuro de uma variável não se diferencie muito dos valores mais recentes, há não ser que haja um evento não previsto. A função de previsão desse modelo tem a seguinte forma:

$$\hat{Y}_{t+1} = w_1 \cdot Y_t + w_2 \cdot Y_{t-1} + \dots + w_k \cdot Y_{t-k+1} \quad (2)$$

iii) Suavização Exponencial

A suavização exponencial é outra técnica utilizada para dados estacionários. O seu modelo pode ser visto a seguir:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot \hat{Y}_t \quad (3)$$

Ou ainda,

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) Y_{t-1} + (1 - \alpha)^2 Y_{t-2} + \dots + (1 - \alpha)^n Y_{t-n} \quad (4)$$

Pela Equação (4) percebe-se que os valores mais recentes recebem pesos maiores. Os valores de α podem variar de 0 a 1, sendo que para pequenos valores o modelo tenderá a produzir uma lenta reação. Por outro lado, para valores próximos de 1 o modelo reagirá mais rapidamente com as mudanças dos dados.

Basicamente existem dois tipos de efeitos presente em séries temporais:

a) Sazonalidade com Efeito Aditivo

O efeito aditivo tende a ter a mesma ordem de magnitude ao longo do tempo, conforme pode ser visto a seguir:

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

$$\hat{Y}_{t+1} = E_t + S_{t+n-p} \quad (5)$$

Em que

$$E_t = \alpha \cdot (Y_t - S_{t-p}) + (1 - \alpha) \cdot E_{t-1}$$

e

$$S_t = \beta \cdot (Y_t - E_t) + (1 - \beta) \cdot S_{t-p}$$

com

$0 \leq \alpha \leq 1$ e $0 \leq \beta \leq 1$ em que α e β são parâmetros de ajuste do modelo.

Neste modelo, E_t representa o nível esperado da série no período t e S_t representa o coeficiente de sazonalidade para o período t . A constante p representa o número de períodos sazonais presente nos dados. Assim, para uma sazonalidade mensal, $p=12$, e sazonalidade trimestral $p=4$.

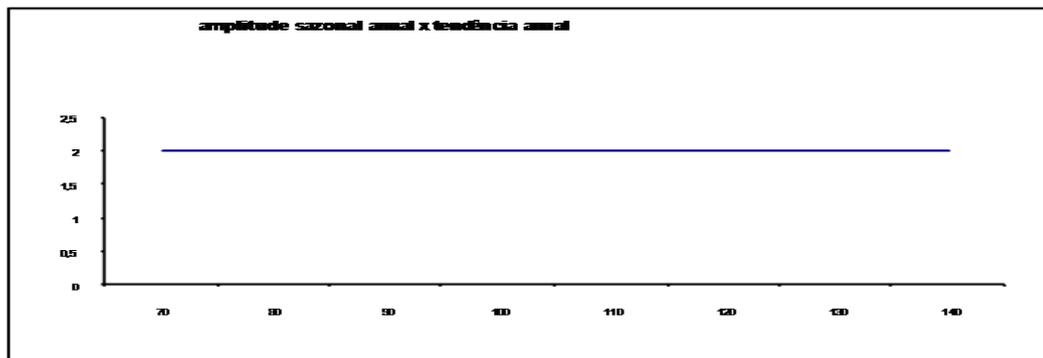


Figura 3 - Gráfico da Sazonalidade com Efeito Aditivo

Fonte: Fávero (2004)

b) Sazonalidade com Efeito Multiplicativo

O modelo matemático para representar séries estacionárias com sazonalidade e efeito multiplicativo é bem semelhante ao modelo anterior, conforme apresentado a seguir:

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + S_{t+n-p} \quad (6)$$

em que:

$$E_t = \alpha \cdot \left(\frac{Y_t}{S_{t-p}} \right) + (1-\alpha) \cdot E_{t-p}$$

$$S_t = \beta \cdot \left(\frac{Y_t}{E_t} \right) + (1-\beta) \cdot S_{t-p}$$

com

$0 \leq \alpha \leq 1$ e $0 \leq \beta \leq 1$ em que α e β são parâmetros de ajuste do modelo.

Todos esses modelos poderão ser aplicados e testados com auxílio de diferentes técnicas de otimização do tipo: Quasi-Newton, Simplex, Simplex e Quasi-Newton, Hooke-jeeves, Hooke-Jeeves e Quase-Newton, Rosenbrock e Rosenbrock e Quase-Newton (DRAPER; SMITH, 2007).

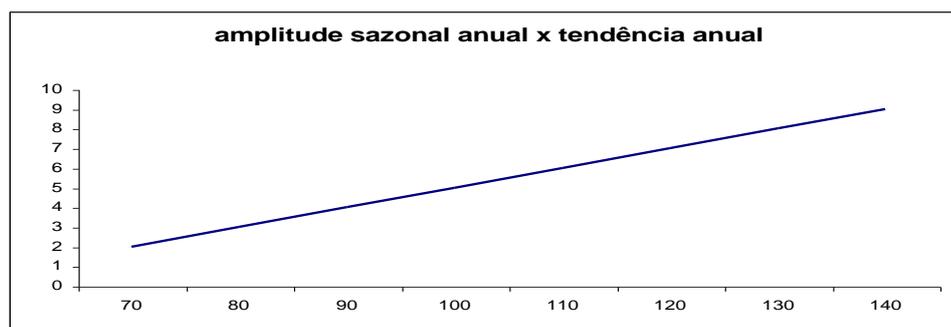


Figura 4 - Gráfico da Sazonalidade com Efeito Multiplicativo

Fonte: Fávero (2004)

1.3.4 Análises de precisão dos dados previstos por uma série

A suposição básica de qualquer técnica de previsão de séries temporais é que o valor observado na série fica determinado por um padrão que se repete no tempo e por alguma influência aleatória. Isto significa dizer que mesmo quando o padrão exato que caracteriza o comportamento da série temporal tenha sido isolado, algum desvio ainda existirá entre os valores da previsão e os valores realmente observados. Conforme Mueller (1966), essa aleatoriedade não pode ser prevista; entretanto, se isolada, sua magnitude pode ser estimada e usada para determinar a variação ou erro entre as observações e previsões realizadas. A seguir, o referido autor apresenta grandezas de estimativa para o erro de previsão em séries temporais:

a) Erro Médio (ME – *Mean Error*):

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)$$

b) Erro Médio Absoluto (MAE – *Mean Absolute Error*):

É um indicador bastante adotado, utilizado quando o gestor quer avaliar o erro na mesma unidade de medida da série original. Utiliza-se o valor absoluto do erro evitando que erros positivos anulem erros negativos. Sua fórmula é dada por:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (7)$$

c) Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE – *Mean Absolute Percentage Error*): É a média da diferença absoluta entre os valores previstos e actuais, expressa em percentagem dos valores actuais é o erro médio em porcentagem ao invés de quantidade.

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right| \quad (8)$$

d) Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE – *Root Mean Squared Error*): tem vantagem de estar na mesma escala que os dados.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|^2} \quad (9)$$

e) Erro Percentual Médio (MPE – *Mean Percentage Error*):

$$\text{MPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) \cdot 100 \quad (10)$$

Em que Y_i é o valor observado no instante i e \hat{Y}_i é o valor previsto no instante i . Essas quantidades medem, portanto, a diferença entre os valores esperados e os valores atuais, dando uma idéia da qualidade da previsão.

1.3.5 Clima

O Clima pode ser definido como o conjunto de condições meteorológicas (temperatura, umidade, chuvas, pressão e ventos) que mantém características comuns em uma determinada região. Variações no clima fazem parte da dinâmica ambiental do planeta. Por exemplo, a diferença das características de uma mesma estação de um ano para outro, que pode ser mais quente ou fria, úmida ou seca, chuvosa ou não. (COSTA, 2009).

O clima do nosso planeta já está mudando e os indícios estão evidentes nos mais diversos aspectos. Há um aumento do vapor d'água na atmosfera e já é possível observar uma mudança no padrão das chuvas (SILVA, 2003). Eventos climáticos extremos também podem ficar mais freqüentes daqui pra frente, como a

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

onda de calor que ocorreu na Europa em 2004 e matou milhares de pessoas, principalmente crianças e idosos (COSTA, 2009).

O clima de uma região é determinado pelos padrões observados de temperatura máxima, temperatura mínima, quantidade de chuvas, ventos, umidade do ar, neblina, tipos de nuvem e eventual ocorrência de tempestade e ciclones. O clima depende de alguns fatores como, a que distância essa região está do oceano, correntes marítimas que passam por esta região, massas de ar que costumam passar pela região, se a área é plana ou montanhosa, a altitude em relação ao nível do mar e duração do período diurno ao longo do ano (CANTO, 2004).

Na climatologia geográfica encontramos, através dos parâmetros climáticos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, pressão atmosférica e ventos), componentes ambientais que influenciam diretamente e indiretamente na saúde humana, pois o ser humano está permanentemente em contato com o meio ambiente atmosférico por intermédio de trocas térmicas, hídricas e gasosas. Dessa forma, o clima age na sensação de conforto, mortalidade e morbidade por doenças sistêmicas, e de maneira indireta através de doenças infecciosas transportadas por vetores ar, água, solo e alimento (PITTON; DOMINGOS, 2004).

Os Sistemas de Correntes Perturbadas de Sul, Norte, Leste e Oeste caracterizam o clima da região Nordeste. O proveniente do Sul, representado pelas frentes polares que alcançam a região na primavera - verão nas áreas litorâneas até o sul da Bahia, traz chuvas frontais e pós-frontais, sendo que no inverno atingem até o litoral de Pernambuco, enquanto o sertão permanece sob ação da alta tropical. O sistema de correntes perturbadas do Norte, provoca chuvas do verão ao outono até Pernambuco, nas imediações do Raso da Catarina (REBOUÇAS, 1997).

Por outro lado, as correntes de Leste são mais freqüentes no inverno e normalmente provocam chuvas abundantes no litoral, raramente alcançando as escarpas do Planalto da Borborema (800 m) e da Chapada Diamantina (1.200 m). Por fim, o sistema de correntes de Oeste, trazidas pelas linhas de Instabilidade Tropical (IT), ocorrem desde o final da primavera até o início do outono, raramente alcançando os estados do Piauí e Maranhão (SILVA, 2003).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Em relação ao regime térmico, suas temperaturas são elevadas, com médias anuais entre 20° e 28°C, tendo sido observado máximas em torno de 40°C no sul do Maranhão e Piauí. Os meses de inverno, principalmente junho e julho, apresentam mínimas entre 12° e 16°C no litoral, e inferiores nos planaltos, tendo sido verificado 1°C na Chapada da Diamantina após a passagem de uma frente polar (SILVA, 2003).

1.3.6 Mudanças climáticas

As mudanças climáticas são uma alteração permanente nessas características e aconteceram diversas vezes no passado, por causas naturais. Entretanto, as atividades humanas, em especial as que utilizam combustíveis fósseis, vêm influenciando a ocorrência desse tipo de evento, por meio da alteração do equilíbrio climático do planeta. A causa central deste fenômeno é a intensificação do efeito estufa, que modifica o modo com que a energia solar interage com a atmosfera provocando graves conseqüências (MORAES, 2009).

Segundo Dantas (2008), as características atmosféricas mudam de lugar para lugar e com o decorrer do tempo, em qualquer lugar e em escalas de tempo que variam desde os segundos até centenas de anos. Existem interações importantes dentro da atmosfera, que podem ser resultantes ou mesmo causadoras de tais mudanças. A variabilidade do clima, tanto num mesmo ano como entre anos diferentes, é muito acentuada, e qualquer variação climática pode provocar grandes catástrofes sociais e econômicas.

O aquecimento do sistema climático é inequívoco, como está agora evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar (IPCC, 2007). Segundo o Relatório do IPCC (2007) é muito improvável que as mudanças do clima nos sete séculos anteriores a 1950, pelo menos, tenham sido decorrentes da variabilidade gerada apenas dentro do sistema climático. É muito provável que uma fração significativa da variabilidade da temperatura interdecenal, reconstruída para o Hemisfério Norte ao longo desses séculos, seja atribuível às

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

erupções vulcânicas e às mudanças na radiação solar, e é provável que o forçamento antrópico tenha contribuído para o aquecimento do início do século XX.

Desde o primeiro relatório do IPCC em 1990, as projeções avaliadas sugeriram aumentos da temperatura média global de cerca de 0,15 a 0,3°C por década para 1990 a 2005. Essas projeções agora podem ser comparadas com os valores observados de cerca de 0,8°C por década, fortalecendo a certeza nas projeções de curto prazo (NOBRE, 2010).

O clima terrestre médio mundial é determinado pela energia que provém do sol e pelas propriedades da Terra e da atmosfera, ou seja, a reflexão, absorção e emissão de energia dentro da atmosfera e na sua superfície. Tem-se produzido mudanças em vários aspectos da atmosfera e na superfície do planeta, que modificam o que se pressupõe em relação à energia mundial da Terra, que podem mudar o clima (IPCC, 1992).

Entre essas mudanças como foi colocado, está o aumento das concentrações dos gases de efeito estufa que servem principalmente para aumentar a absorção atmosférica da radiação emitida, e o aumento dos aerossóis - partículas ou gotas microscópicas presentes no ar que atuam para refletir ou absorver a radiação solar refletida e mudam as propriedades radioativas das nuvens. Essas mudanças originam um forçamento radiativo do sistema climático (IPCC, 1992). Segundo Kaufmann (2006) o aumento da concentração de aerossóis nas colunas atmosféricas associado às atividades humanas pode responder por um aumento de até 5% na nebulosidade.

O aumento das concentrações de todos os Gases de Efeito Estufa (GEE), desde a época pré-industrial, conduziu a um forçamento radioativo positivo do clima, que tende a produzir aquecimento da superfície e causar outras mudanças climáticas. As emissões de GEE produzidas pelo homem têm perturbado o balanço mundial de energia em cerca de 2,5 watts por (m²) e isto equivale a 1% da energia solar recebida na Terra. (MORAES, 2009). A continuação das emissões de gases de efeito estufa nas taxas atuais ou acima delas acarretaria um aquecimento adicional e

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

induziria muitas mudanças no sistema climático global durante o século XXI, as quais, muito provavelmente, seriam maiores do que as observadas durante o século XX (IPCC, 2007).

O aquecimento da atmosfera, na verdade, é a forma mais simples de poder eliminar o excedente de energia. Mas, um pequeno aumento na temperatura deve estar acompanhado por outras mudanças na cobertura das nuvens e nos modelos de ventos trazendo impactos no meio ambiente. Segundo relatório do IPCC, o aquecimento global é inequívoco, evidenciado pelas observações dos aumentos das temperaturas médias globais tanto do ar como do oceano, dos dados sobre o derretimento generalizado da neve e gelo e da elevação do nível global médio do mar (IPCC, 2001).

A umidade específica superficial aumentou a partir de 1976 em estreita relação com temperaturas mais altas, tanto terrestres como oceânicas. A coluna de vapor d água total aumentou nos oceanos em 1,2 +/- 0,3% por década (95% de limites de probabilidade) desde 1988 até 2004 (SANTOS, 2009).

O vapor d água atmosférico transportado pela circulação geral implica um aumento na disponibilidade de umidade para as precipitações e possivelmente numa distribuição irregular (CAVALCANTI et al, 2008).

Há indícios de que as precipitações estejam se tornando mais fortes e freqüentes em muitas regiões da Terra a partir de 1950. O contrário também tem sido observado. Existem provas do aumento da intensidade da atividade ciclônica tropical no Atlântico Norte, desde aproximadamente 1970, bem como, observações, no mesmo ano, em relação às secas mais intensas e longas em áreas mais extensas, principalmente nos trópicos e sub-trópicos (SANTOS, 2009).

A maioria dos cientistas envolvida no estudo das mudanças climáticas aponta para os gases de efeito estufa como responsáveis pelo aumento da temperatura média global das últimas décadas. Modelos matemáticos simuladores do clima global sugerem que, caso haja duplicação dos valores atuais na concentração de

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

dióxido de carbono, a temperatura média global aumentaria até 2100 entre 1,5 e 4,5°C (IPCC, 1990). Ainda, segundo o mesmo relatório, foi evidenciado na temperatura média global um aumento linear de 0,13°C por década nos últimos 50 anos. A ação antropogênica, segundo a maioria dos cientistas, é a forçante radioativa responsável por este fenômeno (UVO, 1998).

Segundo Aragão (1986) outros processos físicos ligados ao sistema Terra-Atmosfera-Oceano, que controlam o clima são considerados importantes. Variações da circulação atmosférica, associadas às variações da temperatura de superfície do mar (TSM) como, por exemplo, alterações na frequência de ocorrência de eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), são outras causas de mudanças significativas na temperatura global. O evento El Niño de 1997/98, considerado o evento mais intenso do século passado, produziu anomalias de temperatura do ar de cerca de 0,8°C, enquanto o La Niña de 1984/85, um resfriamento de - 0,5°C (KUCHARSKI, 2008).

Molion, (2002) observou que as anomalias apresentaram uma tendência positiva, de cerca de +0,37°C, durante o período da fase quente da ODP Oscilação Decadal do Pacífico (1925-46). Uma análise dos ciclos de 11 anos de manchas solares revelou que, simultaneamente, o número máximo de manchas aumentou entre 1920 e 1957, indicando uma maior produção de energia solar durante esse período. No período subsequente (1947-76), que coincidiu com a fase fria da ODP e maior frequência de eventos La Niña, as anomalias da temperatura média global apresentaram uma tendência negativa, com um decréscimo aproximado de - 0,14°C. A partir de 1977, as anomalias voltaram a apresentar tendência positiva, com um aumento de +0,32°C, atribuído à intensificação do efeito-estufa pelas atividades humanas. Coincidentemente, esse aumento da temperatura média global aconteceu quando a ODP estava em sua fase quente e a frequência de eventos El Niño foi mais constante (ANDREOLI, 2007).

1.3.7 Regimes pluviométricos

Desde 1970 a precipitação tende a ficar acima da média do século XX, com média de cerca de 5% superior ao anterior de 70 anos. A análise estatística sugere que a mudança é incomum, mas ainda há cerca de 10% de chance de que essa

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

mudança poderá ocorrer a partir de um clima estável ou quase-estacionária, sem qualquer mudança real de longo prazo. O aumento de fim de século é principalmente devido a aumentos durante o segundo semestre de cada ano, especialmente durante o Outono (MARENGO, 2007).

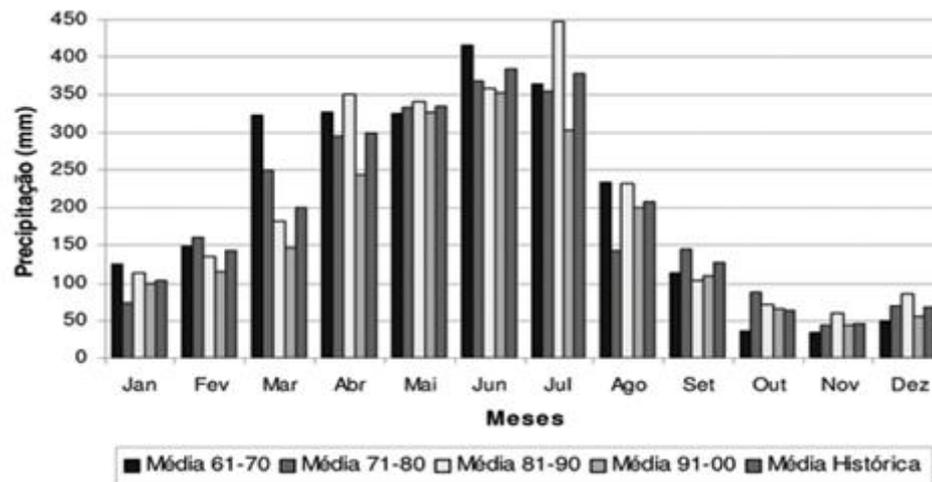


Figura 5 - Médias mensais de precipitação em Recife

Fonte: Dantas, 2005

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) nos últimos meses tem registrado em várias capitais brasileiras Índices Pluviométricos bem acima dos valores considerados normais durante as estações chuvosas. Em notícia veiculada pelo Jornal Terra de 06 de abril de 2010 encontramos a seguinte informação: “O Serviço de Meteorologia do Rio de Janeiro registrou o maior índice de chuva da cidade desde que começou a medição, há mais de 40 anos. Os pluviômetros do órgão marcaram 288 mm no período, o equivalente a 288 l de água por m², como consequência da chuva intermitente que atinge a cidade desde o início da segunda década. O temporal foi o maior desde 1966, segundo o prefeito do Rio, Eduardo Paes. Naquele ano, o índice pluviométrico foi de 245 mm (Jornal Terra, 2010).

Alguns Estados da Região Nordeste como, Bahia, Sergipe, Alagoas e Pernambuco sofreram várias inundações, deslizamento de terra, desabamento de casas e queda de pontes (Jornal da Terra, 2010).

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a média normal de chuva para abril é de aproximadamente 322 mm. Em Aracaju, o Índice Pluviométrico

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

acumulou em abril perto de 353 mm de chuva, valor que está 46% acima da média normal para o mês, que fica em torno de 242 mm, (Estadão, 2010).

Uma combinação de fatores atmosféricos é a causa das inundações que vêm ocorrendo desde a região litoral Sul até a região Nordeste ao longo dos últimos meses do 1º semestre de 2010. Em algumas áreas do Oceano Atlântico a temperatura chegou até 1,5°C o que favorece a evaporação da água e, conseqüente formação de nuvens de chuva no continente, as vezes provocando tempestades.(AMBIENTE BRASIL, 2010).

Tabela 1 - Quantidade de eventos relacionados à chuva nas cinco regiões brasileiras (2003 a 2009 e 1º semestre 2010)

Regiões	Centro Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Total Brasil
2003 a 2009	152	1345	128	950	861	3436
Jan a jun/ 2010	16	199	74	164	336	789

Fonte: Stranz, 2010.

O curso sazonal da precipitação na maior parte do Nordeste Brasileiro é caracterizado pela sua concentração em poucos meses, o que torna a estação chuvosa bem definida. As áreas da costa leste (do leste do Rio Grande do Norte até o sul da Bahia) recebem precipitação máxima durante os meses de maio e junho, e são influenciadas pelo escoamento médio e brisas terra-mar pelos aglomerados convectivos que se propagam para oeste e pelos vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS) e pelos remanescentes dos sistemas frontais na parte sul (SILVA, 2008).

As estações chuvosas dos setores norte e leste do Nordeste brasileiro que, climatologicamente apresentam os máximos de março a abril e maio a junho, respectivamente, são influenciadas, além de outros, por vários sistemas meteorológicos transientes que atuam como forçantes para organizar a convecção nessas regiões. Um desses sistemas é o Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS) (KOUSKY, 1983).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Os distúrbios ondulatórios de leste, chamados de Ondas de Leste (ODL), são ondas que se deslocam com os ventos alísios para oeste no Atlântico Tropical, apresentando estas características nos campos de vento e pressão. As ODLs caracterizam-se como o principal sistema atmosférico provocador de chuva do litoral leste do Nordeste brasileiro, no período de maio a agosto. (ALVES *et al.*,2005). Segundo Moura (2000) as variações interanuais de chuvas no leste do Nordeste (NE) podem ser atribuídas às anomalias na posição e intensidade da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), causadas por anomalias positivas na temperatura da superfície do mar do Atlântico Sul.

Segundo Hastenrath, (1984) o pico máximo de chuvas no leste do Nordeste, de junho a julho, está possivelmente associado à máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre, a qual deve ser mais forte durante as estações de outono e inverno quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior.

Os valores médios mensais de precipitação observados durante o período de 1990 a 2009 compõem o regime do município em estudo de chuva e estiagem durante todo o ano caracterizando, desta forma, a variação sazonal (MEIRA, 2009).

A média anual de precipitação da cidade de Recife é de 2.417,6mm. A primeira década apresentou 8 anos com precipitação abaixo da média, sendo o ano de 1998 o de menor volume 1249,7mm. A segunda década apresentou 5 anos com precipitação acima e 5 anos abaixo da média tendo o ano 2000 apresentado o maior volume de toda a série 3.399,0mm. O menor valor registrado na segunda década foi de 1982,3 em 2006, tendo os demais valores, variado entre 2.026,3mm e 2.573,0mm. Esses valores mostram que a segunda década teve maior precipitação do que a primeira. O volume total da precipitação acumulada da primeira década (1990 a 1999) foi de 15.039mm e da segunda década (2000 a 2009) foi de 24.164,1mm.

1.3.8 Temperatura do ar

Segundo Marini (2007) O aquecimento global é um fenômeno natural, mas cuja cota de exacerbação antropogênica (emissões de gases produtos de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, de indústrias,

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

refinarias, motores etc.) tem sido amplamente discutida. A previsibilidade e o grau do aquecimento global, inclusive as suas conseqüências, envolvem questões complexas sobre as quais os próprios especialistas ainda não formaram um consenso.

A temperatura mínima diária do ar se apresenta como um elemento climatológico importante visto ser um fator preponderante para redução da temperatura observada nos centros urbanos e decisiva para a não ocorrência de eventos climáticos como a onda de calor. Uma avaliação da variabilidade climática, ao longo do tempo no Brasil, mostrou que, dependendo da região analisada, podem ocorrer alterações contínuas ou ciclo bem demarcado dos elementos meteorológicos. (LIMA, 2010).

Segundo Souza (2009) a região Nordeste apresentou um acréscimo de $0,02^{\circ}\text{C}$ por ano. Caso a temperatura continue aumentando, ocorrerá um crescimento da evaporação/transpiração e aumento na deficiência hídrica, que terá como conseqüência, um aumento de áreas com risco de eventos climáticos.

No verão o intervalo de temperatura mínima diária segue relativamente um padrão quando comparado com a altitude, ou seja, para regiões de menor altitude, tem-se um valor de temperatura mínima diária maior. Porém, regiões de diversas altitudes têm experimentado, nos últimos anos, um aumento da temperatura mínima apesar da influência de diversos elementos e fatores climatológicos, tais quais: localização da estação meteorológica, proximidade do mar e grandes lagos, altitude, latitude, longitude, trajetória dos sistemas migratórios, correntes oceânicas, entre outros que possam interferir no comportamento dos elementos citados (SANTOS; MORALES, 2009).

1.3.8.1 - Aumento na temperatura global e continental

Na figura 6, correspondente às mudanças de temperatura global durante o século XX, a linha azul ilustra somente as mudanças devidas a forças naturais acionadas pela atividade solar e por vulcões. As linhas vermelhas são formadas por mudanças induzidas por fontes naturais e antropogênica. A linha preta é formada de registros de temperatura reunidos por cientistas do mundo inteiro (IPCC, 2007).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

O aumento das temperaturas anuais, após a década de 1970, é resultado, principalmente, do aumento significativo da temperatura durante os primeiros seis meses do ano (primavera e inverno). As temperaturas durante o verão e outono mudaram pouco depois da década de 1930 (KLEIN, 2006).

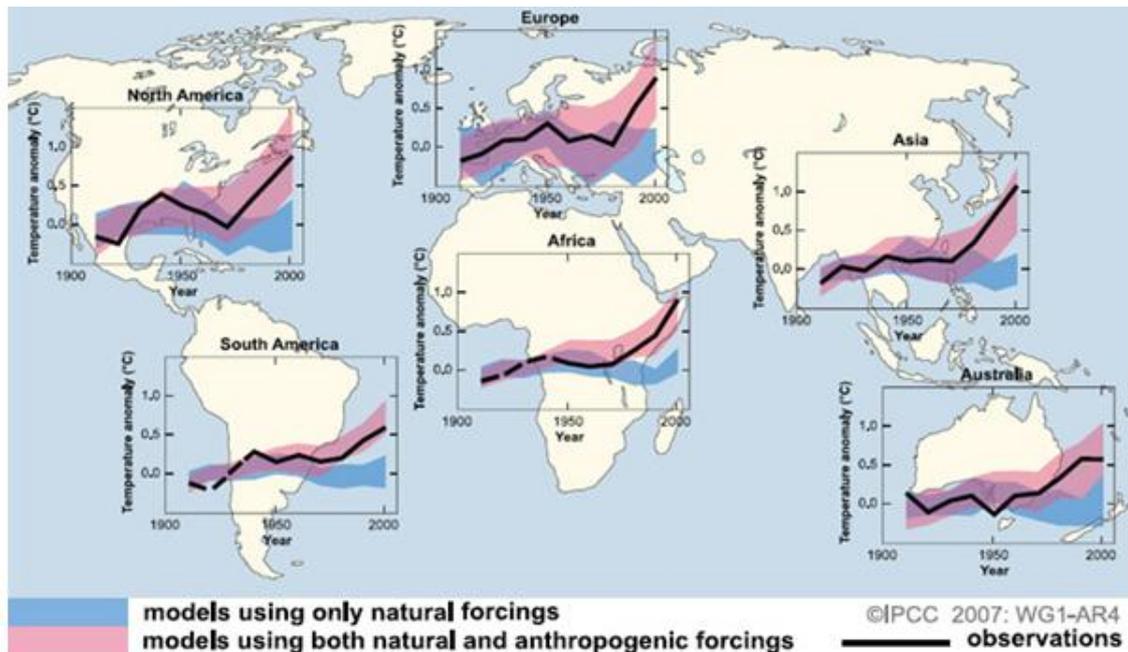


Figura 6 - Mudança de Temperatura Global e Continental

Fonte: IPCC (2007)

Os aumentos de temperatura variam de continente para continente, porém ainda é cedo para afirmar que o aquecimento global é produzido pelo homem ou por forças naturais (KLEIN, 2006).

O aquecimento do sistema climático foi detectado nas mudanças das temperaturas da superfície e atmosférica, das temperaturas das várias centenas de metros superiores do oceano e nas contribuições para a elevação do nível do mar. Os estudos de atribuição estabeleceram contribuições antrópicas para todas essas mudanças. É muito provável que os padrões observados de aquecimento troposférico e esfriamento estratosférico se devam às influências combinadas dos aumentos de gases de efeito estufa e da destruição do ozônio estratosférico. (IPCC, 2007).

A tendência linear de aquecimento nos últimos 50 anos de $+0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$, por década, é aproximadamente o dobro da tendência verificada nos últimos 100 anos.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Os onze anos mais quentes desde que há registros de temperatura do ar próximo à superfície são: 1998, 2005, 2003, 2002, 2004, 2006, 2001, 1997, 1995, 1999, 1990, 2000 (ordem decrescente de temperatura do ar). Nos últimos 50 anos observaram-se variações em larga escala nas temperaturas extremas com diminuição da frequência de noites e dias frios, e aumento da frequência de dias e noites quentes e das ondas de calor (SALATI, 2007).

Antes do século XX, quando as emissões de gases de efeito estufa pelo homem realmente decolou, houve uma estabilidade básica para o clima global. A temperatura variou de ano para ano ou década para década, mas permaneceu dentro de certos limites e em média a um nível aproximadamente constante o que mostram os registros entre as décadas de 1970, 1980 e 1990 com exceção do ano 1998 considerado o mais quente até o presente momento (KUCHARSKY, 2008).

As temperaturas recordes observadas em 1998 ocorreram a partir da década de 1970, momento no qual, foi registrado um aumento de 0,45°C na temperatura média global. A partir de 1998 a temperatura média global manteve-se estabilizada registrando nos anos seguintes o aumento de 0,07°C. (MOLION, 2002).

Um estudo apresentado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), mostra que as temperaturas da superfície global da Terra nos meses de janeiro a abril deste ano foram as mais quentes desde 1880, data em que teve início este tipo de registro (ZANINI, 2010).

Embora os cientistas discutam a respeito do aquecimento global, os aumentos de temperatura não estão distribuídos de maneira uniforme geograficamente. A figura 7 mostra que partes do hemisfério sul até testemunharam algum resfriamento, ao passo que o Ártico, a Groenlândia e o Alasca passaram por um período de aquecimento expressivo. E enquanto a América do Sul observou somente pequenos aumentos de temperatura, o aquecimento foi mais acentuado na Ásia, na África do Norte e no Mediterrâneo (IPCC, 2007).

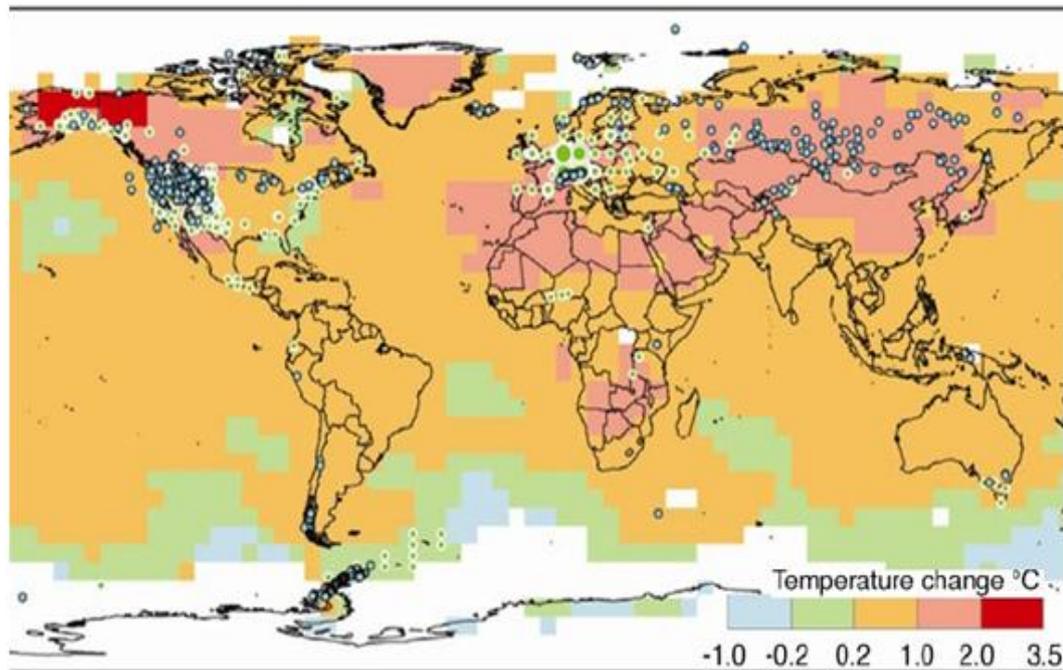


Figura 7 - Diferenças locais no Aquecimento Global

Fonte: IPCC (2007)

Os gases de efeito estufa, entre eles o dióxido de carbono, vêm sendo projetados na atmosfera em crescente quantidade desde o advento da Revolução Industrial, que teve início há mais de um século (MARIANO, 2005).

Modelos climáticos referenciados pelo IPCC projetaram que as temperaturas globais de superfície provavelmente aumentariam no intervalo entre 1,1 e 6,4 °C entre 1990 e 2100. A variação dos valores reflete no uso de diferentes cenários de futura emissão de gases estufa e resultados de modelos com diferenças na sensibilidade climática. Apesar de que a maioria dos estudos tem seu foco no período de até o ano 2100, espera-se que o aquecimento e o aumento no nível do mar continuem por mais de um milênio, mesmo que os níveis de gases estufa se estabilizem. Isso reflete na grande capacidade calorífica dos oceanos (IPCC, 2007).

Desde o primeiro relatório do IPCC em 1990, as projeções avaliadas sugeriram aumentos da temperatura média global de cerca de 0,15 a 0,3°C por década para 1990 a 2005. Essas projeções agora podem ser comparadas com os valores observados de cerca de 0,2°C por década, fortalecendo a certeza nas projeções de curto prazo. (IPCC, 2007). Algumas alterações foram observadas em vários continentes como um aumento da temperatura média da superfície, mais

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

pronunciado durante a estação fria, um aumento na precipitação, especialmente durante a estação fria; secas duradouras, especialmente durante a estação quente; um aumento pequeno, mas significativamente maior de temperatura noturna em comparação com a temperatura do dia, principalmente durante a estação quente; maior parte da precipitação da estação quente provenientes de chuvas convectivas pesadas (VUILLE et al, 2008)

Os mapas das Figuras de 8, 9 e 10 mostram a distribuição espacial das estações climáticas fornecedoras dos dados de precipitação, temperatura média, temperatura máxima e mínima registradas anualmente em todos os continentes.

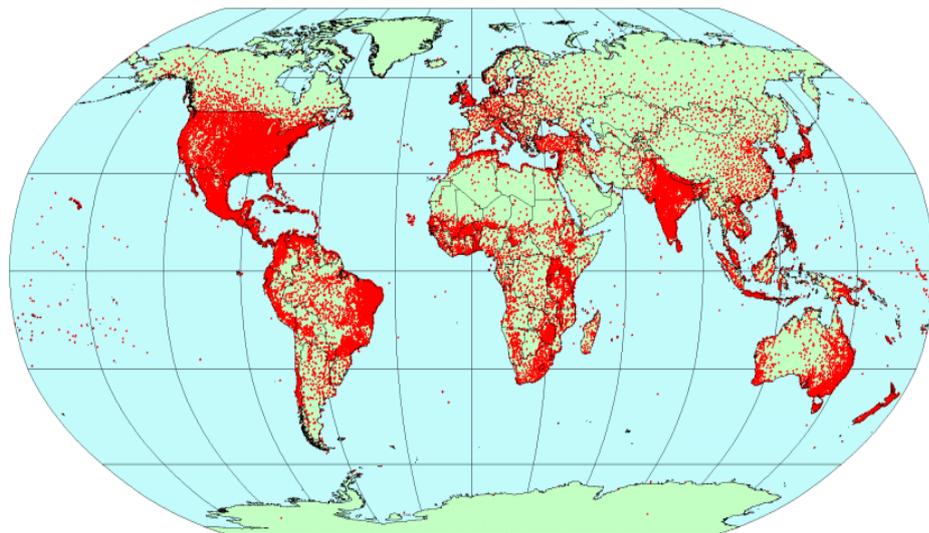


Figura 8 - Localização das Estações Climáticas fornecedoras de dados de precipitação

Fonte: Hjmans (2005)

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

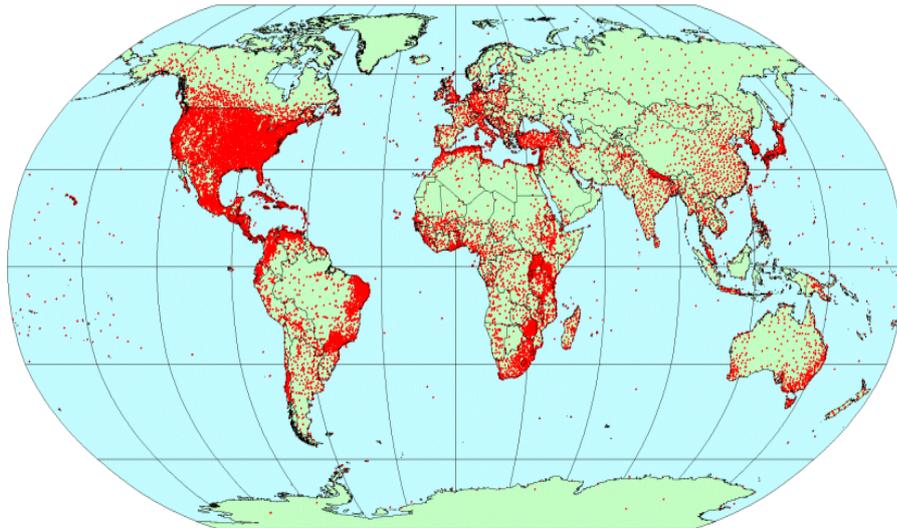


Figura 9 - Localização das Estações Climáticas fornecedoras de dados de temperatura média

Fonte: Hjmans (2005)

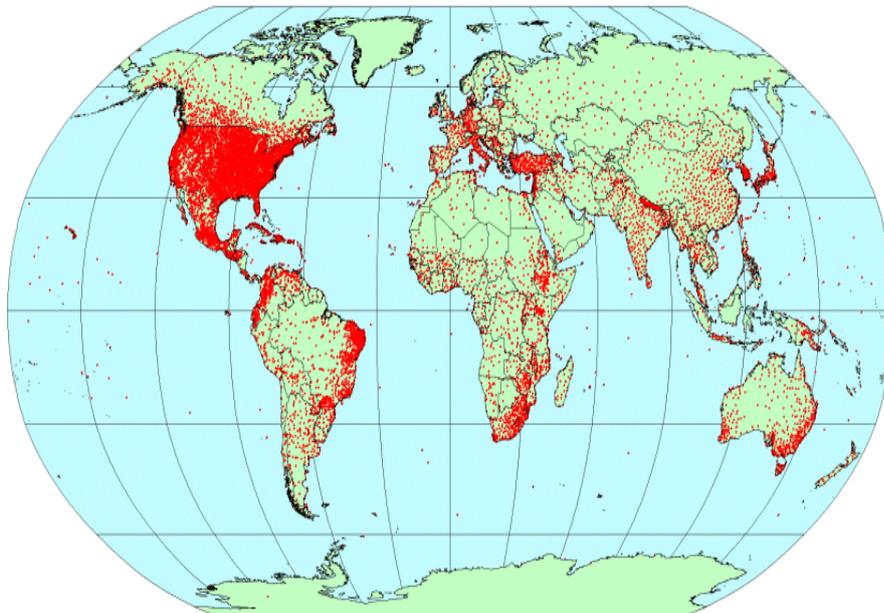


Figura 10 - Localização das Estações Climáticas fornecedoras de dados de temperatura máxima e mínima

Fonte: Hjmans, 2005. *International Journal of Climatology*

Os anos 2005 e 1998 são considerados como os mais quentes no registro de temperatura do ar superficial mundial desde 1950. As temperaturas superficiais em 1998 intensificaram-se pelo fenômeno El Niño de 1997-1998, sendo que esta

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

anomalia não se apresentou em 2005. Dos últimos doze anos (1995-2006) onze deles a exceção de 1996, foram classificados entre os 12 anos mais quentes registrados desde 1850 (SANTOS, 2009). O aumento da temperatura total, nos últimos 150 anos, foi de cerca de $0,76^{\circ}\text{C}$. Porém, nos últimos 50 anos, este valor se intensificou bastante, em torno de $0,13^{\circ}\text{C}$ por década (IPCC, 2007).

1.3.9 Futuro aumento da temperatura global

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) oferece vários cenários que refletem como as temperaturas podem mudar. A Figura 11 exibe três cenários. A coluna à esquerda ilustra temperaturas em cerca de 20 anos, a coluna à direita mostra o mundo no final do século XXI. Os aumentos de temperatura no Ártico e no hemisfério norte serão expressivos, não importa a velocidade com que o aquecimento global progrida. As temperaturas aumentarão principalmente na África do Norte, o que poderia gerar secas e fome; no Himalaia, onde as geleiras que alimentam alguns dos maiores rios do mundo podem desaparecer; e na Sibéria, onde o permafrost em derretimento pode liberar milhões de toneladas de gases estufa (IPCC, 2007). A Figura 12 apresenta o aumento da temperatura em até 6°C na América do Norte envolvendo o Alaska e a Groelândia e região Norte da Ásia proposto pelo IPCC para os próximos 100 anos.

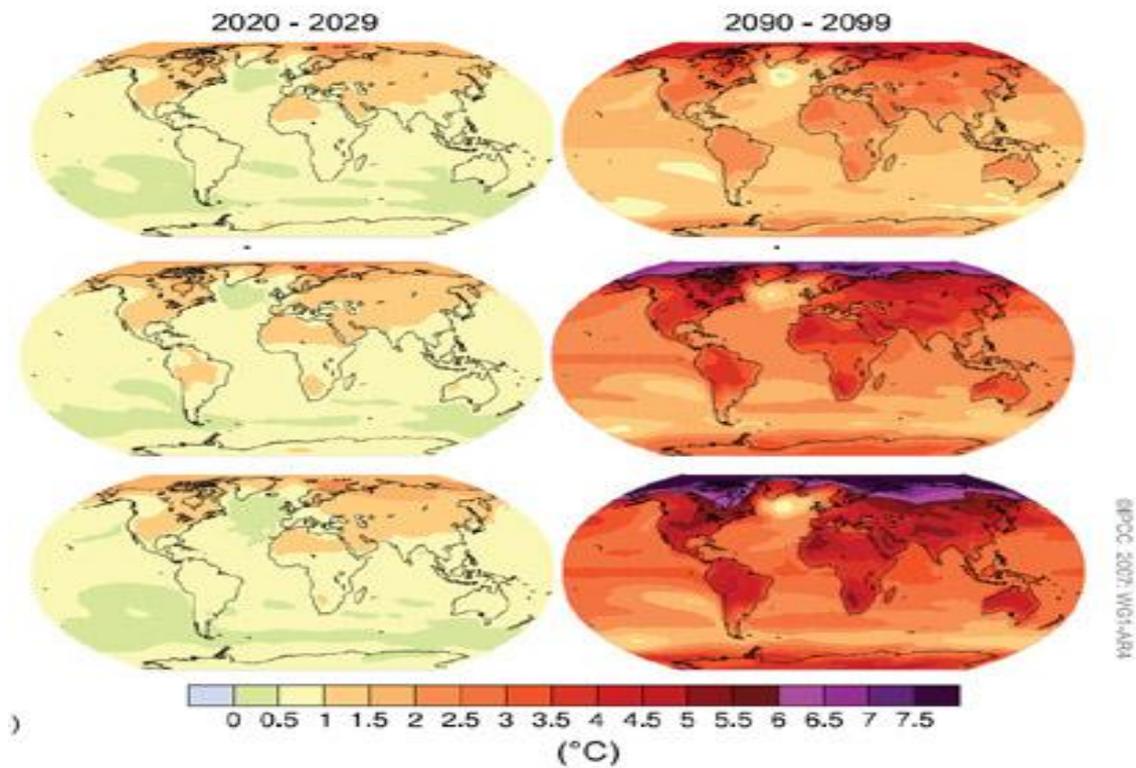


Figura 11 Cenário detalhado do aumento da temperatura

Fonte: IPCC, 2007.

O cenário de aquecimento global mais provável é denominado A1B. Ele descreve um mundo de crescimento econômico muito acelerado, com uma população que atinge seu pico por volta de meados do século e declina em seguida. Tecnologias novas e mais eficientes são introduzidas rapidamente. As diferenças regionais no rendimento per capita diminuem. A energia provém de várias fontes bem equilibradas. Ainda assim, as temperaturas aumentam até 6 a 7^o Celsius no Ártico, cerca de 3^oC na Europa e 3 a 4^oC na Ásia e nas Américas (IPCC, 2007).

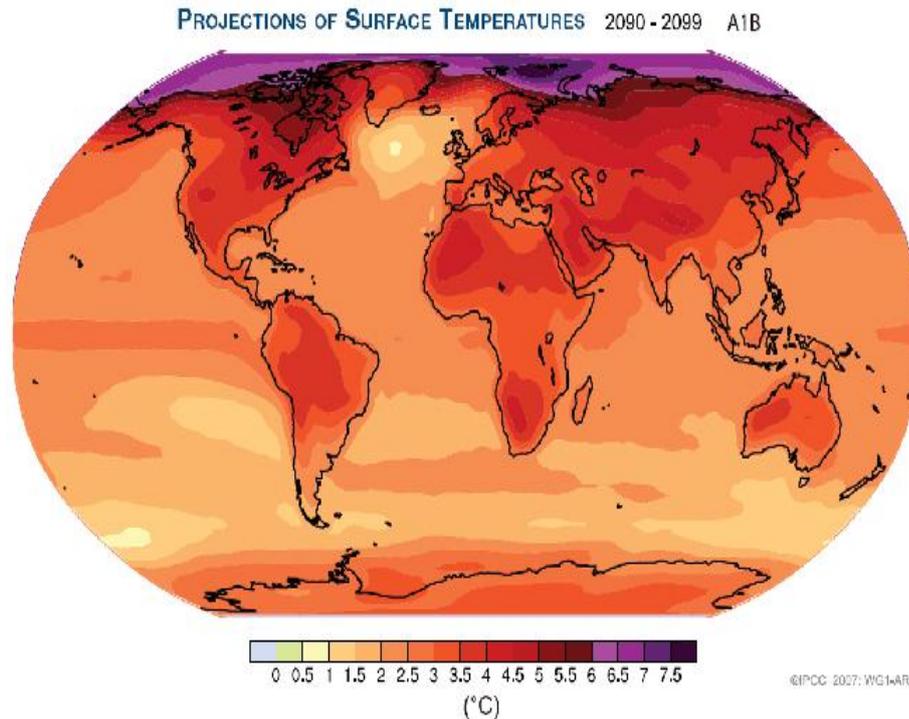


Figura 12 - Projeções da Temperatura no Globo

Fonte: IPCC: 2007.

Até o fim deste século a temperatura da Terra deve subir entre 1,8°C e 4°C, o que aumentaria a intensidade de furacões e secas. Nesse cenário, um terço das espécies do planeta estaria ameaçado. Populações estariam mais vulneráveis a doenças e desnutrição (IPCC, 2007). O aumento da temperatura global é uma realidade e as notícias coletadas dos jornais chamam-nos a atenção para a verdade deste fato.

Segundo o Jornal Diário de Pernambuco, (2010), o Recife e a Região Metropolitana vivenciaram nos meses de abril e maio um aumento significativo da temperatura chegando a máxima aos 33°C e a temperatura mínima 24°C bem acima da média histórica.

O calor recorde registrado na Europa é para alguns especialistas o resultado de uma dessas alterações. A corrente de ar quente do Deserto do Saara que atravessa o Mediterrâneo e marca o pico do verão europeu ficou estagnada e criou três semanas altamente quentes no continente. Na África, teme-se que o efeito estufa agrave secas e pragas. No Lago Tanganica, entre a República Democrática do

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Congo, Tanzânia, Zâmbia e Burundi, a produção de peixes caiu 30% em meio século (COUTINHO, 2004).

Uma prévia do relatório anual da organização Meteorológica Mundial, órgão da ONU que avalia o clima na Terra, divulgada em dezembro, mostra que 2006 foi marcado por uma série de recordes no terreno das alterações climáticas e das catástrofes naturais. Pela primeira vez desde que começaram as medições, no século XIX, o termômetro chegou aos 40 graus em diversas regiões temperadas da Europa e dos Estados Unidos. (Revista Veja, 2006).

Os dados da análise climatológica em Portugal Continental apontam para uma tendência de aumento da temperatura. Na última década o aumento médio foi da ordem dos 0,33 graus, ou seja, de uma subida previsível de 2 graus em 60 anos (CARNEIRO, 2009).

Lincoln Alves, meteorologista do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), explica que o fenômeno é uma tendência nas maiores cidades brasileiras. Segundo ele, a colocação de asfalto em grandes extensões e a construção de mais e mais prédios de concreto forma ilhas de calor. Nessas áreas, o ar tem menos espaço para circular, e, com isso, a temperatura da região aumenta. Nos últimos 10 anos, a temperatura média no Distrito Federal subiu 0,8° e mínima aumentou 1° (BOECHAT, 2010).

“Segundo o geógrafo Prof. Aziz Ab Saber o aquecimento na região de área tropical já é um fato. Em São Paulo, no começo do século passado, a temperatura média era de 18,6°C, segundo os informes obtidos por uma pequena estação meteorológica particular, hoje é de 20,8 C” (Jornal do Clima, 2010).

A Figura 13 exhibe as Médias mensais da Temperatura do Ar em Recife entre 1960 a 2000. É possível observar o aumento de temperatura no período de 1991 a 2000 em relação às décadas anteriores e, principalmente, em relação à média histórica.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

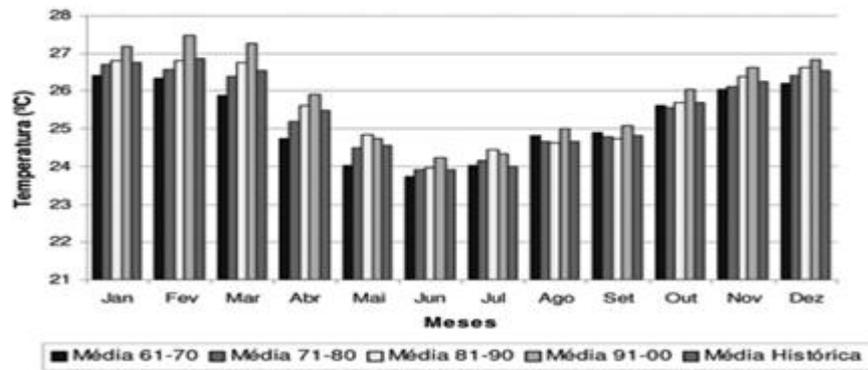


Figura 13 - Médias mensais da Temperatura do Ar em Recife entre 1960 a 2000

Fonte: Dantas, 2005.

O National Climatic Data Center, NCDC, órgão americano ligado à NOAA, Administração Nacional Oceânica e Atmosférica, informou que a temperatura combinada dos oceanos em abril de 2010 bateu o recorde mensal dos últimos 131 anos, atingindo 14.5 °C, 0.76 graus Celsius acima da média de todo o século 20, que era de 13.7°C e nas áreas continentais atingiu 1.29 graus Celsius acima da média do século 20. É possível observar na Figura 14 que pequenas áreas continentais, demarcadas com pontos azuis, se encontram nos períodos atuais com temperaturas sem alteração. Os pontos vermelhos correspondem ao registro do aumento de temperatura em escala global (Apolo 11, 2010).

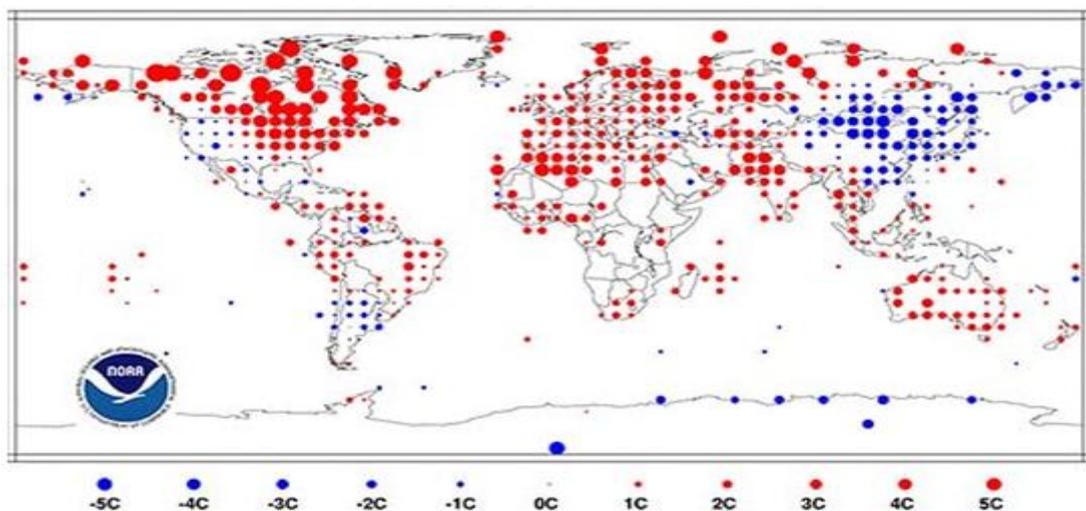


Figura 14 - Gráfico representativo da anomalia térmica global registrada em abril/2010

Fonte: Apolo11.com (2010)

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

A Figura 14i elaborada pelo Centro Nacional de Dados Climáticos (NCDC) mostra os diversos pontos do planeta onde as temperaturas se mostraram alteradas com relação à média. Pelo gráfico é possível observar que o hemisfério norte foi onde se verificou maiores desvios positivos de temperatura. Condições mais frias prevaleceram em toda a Argentina, Mongólia, leste e sul da Rússia e na maior parte da China (Apolo 11, 2010).

1.3.10 Uma década de elevação na temperatura global

A temperatura do ar é controlada em grande parte pelo efeito natural de gases e de vapor d'água atmosférico. No grupo dos gases cujas concentrações foram alterados devido às atividades humanas estão incluídos o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozônio, flúor, cloro e certos compostos de carbono. Embora todos esses gases constituam em menor escala a atmosfera, a maioria deles são de longa duração nos seus efeitos, uma vez que permanecem na mesma por décadas, até séculos (AGUILAR, 2005).

Antes do século XX, quando as emissões de gases de efeito estufa pelo homem realmente decolou, houve uma estabilidade básica para o clima global. A temperatura variou de ano para ano ou década para década, mas permaneceu dentro de certos limites e em média a um nível aproximadamente constante o que mostram os registros entre as décadas de 1970, 1980 e 1990 com exceção do ano 1998 considerado o mais quente até o presente momento (SMITH, 2008).

Segundo Metoffice (2010) em 1998 o mundo viveu o ano mais quente desde que os registros começaram. Os valores observados não foram superados na década seguinte, o que levou alguns cientistas a afirmarem que o aquecimento global havia parado ou que estávamos entrando num período de resfriamento global. Os estudiosos do clima reconheceram que houve uma estabilização temporária do aquecimento apesar dos níveis de emissão dos gases de efeito estufa continuar crescente.

As temperaturas recordes observadas em 1998 tiveram início na década de 1970 a partir da qual foi registrado um aumento de 0,45°C na temperatura média

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

global. A partir de 1998 a temperatura média global manteve-se estabilizada registrando nos anos seguintes o aumento de 0,07°C. Apesar de ser um aumento não tão significativo isto prova que não houve o resfriamento como havia proposto um grupo de cientistas. A partir do ano 2000 a temperatura manteve-se próxima à média global registrando valores muito próximos dos observados em 1998, por este motivo, todos os anos entre 2000 e 2008 foram colocados no grupo dos anos mais quentes (Metoffice, 2010). Segundo a NASA, a última década foi a mais quente já registrada e 2009 foi o segundo ano mais quente. As temperaturas subiram 0,2° C por década ao longo dos últimos 30 anos e a temperatura média global aumentou 0,8° C desde 1880 (Met Office, 2010).

Tabela 2 - Representação da diferença na temperatura média dos anos mais quentes já registrados (Top 20)*

Ranking	Ano	Diferença de Temperatura	Ranking	Ano	Diferença de Temperatura
01	1998	0,52°C	11	2008	0,31°C
02	2005	0,47°C	12	1995	0,28°C
03	2003	0,46°C	13	1999	0,26°C
04	2002	0,46°C	14	1990	0,25°C
05	2009	0,44°C	15	2000	0,24°C
06	2004	0,43°C	16	1991	0,20°C
07	2006	0,43°C	17	1983	0,19°C
08	2007	0,40°C	18	1987	0,17°C
09	2001	0,40°C	19	1994	0,17°C
10	1997	0,36°C	20	1988	0,16°C

*Fonte: Metoffice (2010)

A Figura 15 representa uma alteração climática que vem sendo observada nas últimas décadas com relação ao aumento da temperatura média em diversas regiões do planeta atingindo a marca de 0,6°C em 1998.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

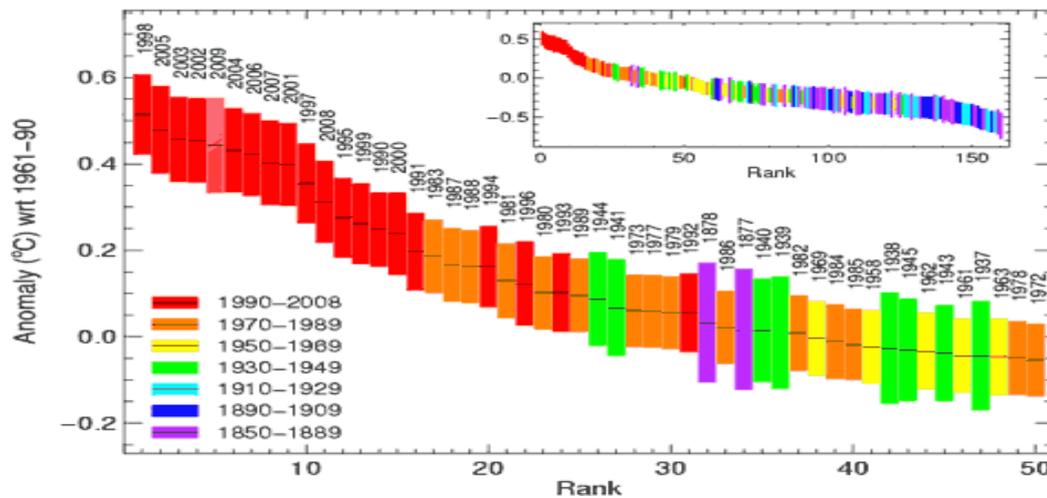


Figura 15 - Gráfico representativo dos anos mais quentes já observados

Fonte: Metoffice (2010)

1.3.11 Umidade relativa do ar

A Umidade Relativa do Ar é definida como a relação de quantidade de vapor d'água que o ambiente possui naquele momento e a quantidade máxima de vapor d'água que ele poderia ter a temperatura ambiente, ou seja, é a porcentagem de vapor d'água existente em relação ao máximo que poderia ter. A umidade relativa do ar pode ser influenciada por alguns importantes controles climáticos como a temperatura, mesmo que não ocorra aumento ou diminuição em seu conteúdo de umidade (FALCÃO et AL 2010).

O ar atmosférico tem como constituinte o vapor d'água e este tem sua importância física associada as suas características moleculares, e fisiológica, decorrente de sua dependência pelos seres vivos. O conhecimento da umidade relativa do ar e suas interações com outros elementos meteorológicos ajudam no planejamento, manejo e gestão dos recursos hídricos (CAVALCANTI, 2008).

A sua medição ou estimativa é fundamental em diversas áreas do conhecimento, como em estudos bioclimatológicos, agro meteorológico e hidrológico (DELGADO et al, 2007).

A umidade relativa do ar caracteriza-se pela quantidade de vapor de água existente em um determinado ambiente. Por Recife ser uma cidade litorânea, a umidade relativa apresenta valores próximos de 80%, porém quando estes valores

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

flutuam abaixo desta média, surgem ocorrências de doenças respiratórias. Na Figura 16 é possível observar as maiores flutuações no inverno quando aumenta, consideravelmente, a precipitação. Nos demais períodos em que a precipitação é menor, a umidade relativa diminui contribuindo para o surgimento de enfermidades respiratórias.

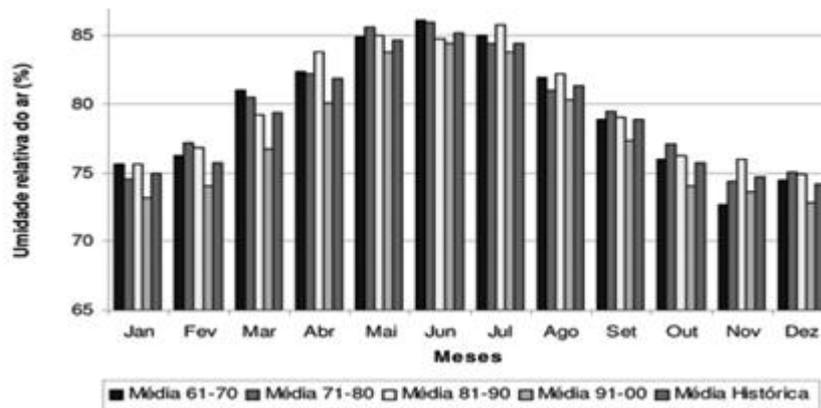


Figura 16- Média mensal de Umidade Relativa do Ar em Recife nos períodos de 1961 a 2000

Fonte: Dantas (2005)

1.3.12 Eventos climáticos extremos

Os eventos climáticos são aqueles que não se afastam significativamente das médias, com uma freqüência alta, em escala temporal diária de ocorrência. Os eventos climáticos extremos de chuva são aqueles em que os totais num certo período, seja anual, sazonal, diário ou outro, apresentaram desvios de chuva superiores ou inferiores ao comportamento habitual da região no período analisado (ROPELEWSKI, 1999).

A atmosfera é dinâmica por sua própria natureza, seguindo um ritmo composto por eventos usuais e eventos extremos, anômalos ou excepcionais. Os eventos usuais são registrados com maior freqüência, possibilitando a sua absorção pelas sociedades que se adaptam ao seu ritmo natural (VINCENT, 2006).

Segundo Sarachik (1999), podemos definí-los como sendo uma ocorrência que apresenta uma incidência rara, se distanciando da média, variando em sua magnitude. Os eventos climáticos extremos são responsáveis pelas principais catástrofes naturais atuais, como podemos verificar através da Figura 17.

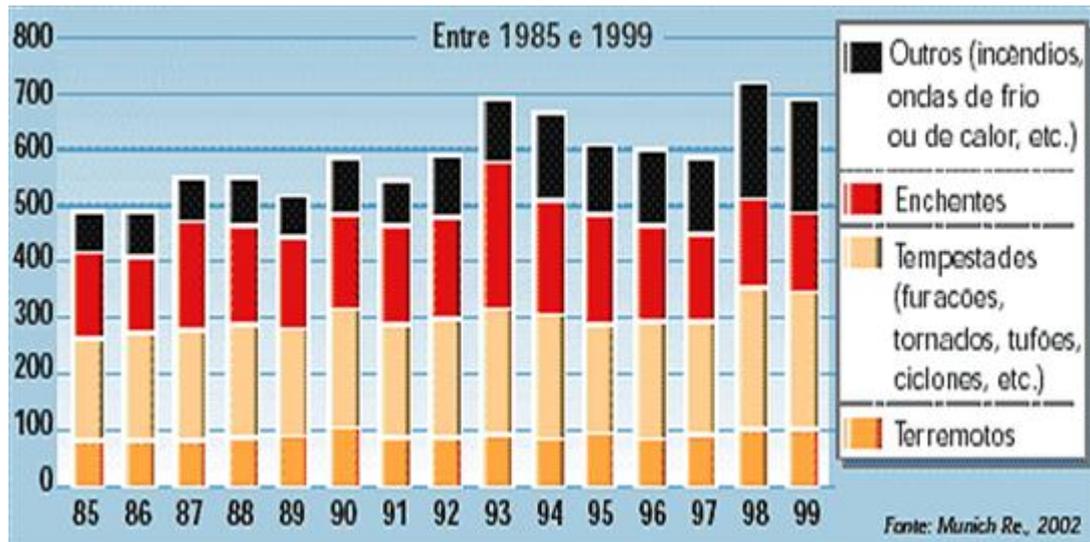


Figura 17 - Catástrofes naturais no mundo

Fonte: Estado de São Paulo, 2003.

Segundo NEW (2006), eventos extremos são ocorrências que apresentam uma incidência rara, se distanciando da média e variando em sua magnitude. Diante dos eventos extremos a sociedade apresenta alto grau de vulnerabilidade frente à dinâmica da natureza. A capacidade de previsão da ocorrência desses fenômenos somada ao estudo dos sistemas naturais e de contribuição antrópica poderá contribuir para a redução dessa vulnerabilidade (NEW, 2006).

O litoral brasileiro sofre a influência de brisas marítimas e terrestres cujo mecanismo de inversão entre o dia e a noite (aquecimento e resfriamento) provoca chuvas diárias e de curta duração. As correntes marítimas quentes têm grande influência sobre a Região Nordeste do País e se deslocam para oeste a partir do continente africano trazendo umidade para a costa brasileira. O índice pluviométrico que ocorre no litoral nordestino entre os meses de abril a julho sofre grande

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

influência dos ventos úmidos provenientes do Sudeste. Os ventos alísios que são permanentemente influenciados pelo movimento de rotação da terra aumentam a pluviosidade da região (SOARES, 2010).

Ainda, segundo Soares (2010), as perturbações ondulatórias dos alísios (POAs) são originadas pela chegada de sistemas frontais vindos do sul, relacionadas às frentes frias (massa polar atlântica - mPa). Dependendo da intensidade das POAs, podem ocorrer períodos extremos de chuvas com volumes pluviométricos de semanas concentrados em apenas 24 horas. Este fenômeno explica a catástrofe que se abateu sobre a Zona da Mata dos Estados de Pernambuco e Alagoas no mês de junho de 2010.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, E. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. **Journal of Geophysical Research**. Vol. 110. 2005.

Ambiente Brasil. Em 24/03/2010. Temporal causa alagamentos em Foz do Iguaçu - PR. Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/ clipping/2010/03/24/52643-temporal-causa alagamentos em Foz-do-iguazuPR.htm>.

Ambiente Brasil. Em 27/03/2010. Duas cidades decretam emergência por causa da chuva em Santa Catarina.

Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/ clipping/2010/03/27/52707-duas-cidades-decretam-emergencia-por-causa-da-chuva-em-sc.html>.

Ambiente Brasil. Em 13 / 04 / 2010. Temporal causa problemas nos estados da Bahia, Sergipe e Pernambuco. Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/ clipping/2010/04/13/53471-temporal-causa-problemas-nos-estados-da-bahia-sergipe-e-pernambuco.html>. Acesso em: 14/04/2010. 21:00h.

Apolo 11. Aquecimento Global: temperatura bate recorde histórico em 2010. http://www.apolo11.com/mudancas_climaticas.php?titulo=Aquecimento_Global_temperatura_bate_recorde_historico_em_2010&posic=dat_20101020-111613.inc.

BELTRÃO. K. I. Séries temporais no domínio da frequência: uma introdução. In: 4ª Escola de Séries Temporais e Econometria. UFRJ/RJ. 1991.

BLOCH, S. C. **EXCEL para Engenheiros e Cientistas**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

BOECHAT, J. Correio Brasiliense. Alta na temperatura está ligada ao crescimento das cidades. Brasília. Abril 2010. Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia182/2010/01/24/cidades,i=168681/Alta+na+Temperatura+está+Ligada+ao+Crescimentoi+das+Cidades.shtml>. Acesso em : 18/04/2010. 23:45h.

BOX, G.E. P.; Jenkins, G. M.; Reinsel, G. C. Time Series Analysis: Forecasting & Control. 3rd Edition. New York: John Willey & Sons, 2008.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

CANTO, E L. Ciências Naturais. Ed.Moderna. 261p. São Paulo. 2004.

CARDIM, M. Mapeamento do comportamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do estado de São Paulo. Botucatu, 2001.124p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas - Campus de Botucatu.

CARNEIRO, A. Dados climatológicos apontam para tendência de aumento de temperatura. Aumento da Temperatura no Mundo RTP, dez.2009. Disponível em: <http://tv1.rtp.pt/noticias/index.php?headline=46&visual=9&tm=8&t=Dados-climatologicos-apontam-para-tendencia-de-aumento-de-temperatura.rtp&article=304063>. Acesso em 14/04/2010. 20:30h.

CAVALCANTI, E P; Filho, M F G; Bezerra, W A. Fluxo de vapor de água atmosférico na obtenção do resíduo ET-P em três macrorregiões brasileiras. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.12 no.5 Campina Grande Sept./Oct. 2008

COSTA, A A. Aerossóis, Nuvens e Clima: Resultados do Experimento LBA para o Estudo de Aerossóis e Micro física de Nuvens. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, nº2, 234-253, 2009.

COUTINHO, L. Cada vez mais quente. O homem calcula a temperatura média do planeta desde 1861. E nunca se registraram ondas de calor intensas como as dos últimos anos. **Revista Veja**. Edição 1837 . 21 de janeiro de 2004. Disponível em: http://veja.abril.com.br/210104/p_094.html. Acesso em 14/04/2010. 13:55h.

DANTAS, R T., OLIVEIRA, F M.,LIRA, V M., SOUZA, W M. Avaliação das Alterações de elementos meteorológicos em Recife/PE no período de 1961 a 2000. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, **20** (1): 67-74, jun. 2005.

DELGADO, R C., SEDIYAMA, G C., ANDRADE, R G., MENEZES, S J M C. Modelos para Prognósticos da Umidade Relativa do Ar em Escala Horária no Município de Muriaé, MG. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, p. 295-300. 2007.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

DIGGLE, P. J. **Time series**: a biostatistical introduction. Oxford: Oxford University Press; 1992.

DRAPER, N. R.; Smith, S. Applied regression analysis. New York: John Wiley and Sons; 2007. p:141-69, 250-65.

FALCÃO, R M., GALVANI, E., LIMA, N G B., CRUZ, B R P. Análise da Variação da Umidade Relativa do Ar do Pico da Bandeira, Parque Nacional Alto Caparaó, Brasil. Tema 3 – Geodinâmicas: entre os processos naturais e socioambientais. 10p. VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física. USP. São Paulo. 2010.

FARIA, E. L; Albuquerque, M P; Cavalcanti, J T P. Previsão de Séries Temporais utilizando Métodos Estatísticos. Rio de Janeiro..Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF – NT – 003. 16p. 2008.

FÁVERO, L. P. L.; OLIVEIRA, M. A.; ANGELO, C. F. Aplicação de Métodos de Ajustamento Sazonal em Séries Temporais. VI SEMEAD, 2004.

HAMILTON, J. D. Time Series Analysis. Plincenton: Plincenton University, 1994. 820 pp.

HIJMANS, R J; CAMERON, J L; PARRA, P G; JARVIS, A. Very High resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**. 25: 1965-1978. 2005

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Boletim informativo/MAPA**. Ano 4. Nº 19. maio e junho 2010.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 1992. The supplementary report to the Scientific Assessment. 201p.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2001. Third Assessment Report of the IPCC - TAR.. 462p.

Jornal Diário de Pernambuco. Vida Urbana. Recife terá hoje o dia mais quente do ano, com temperatura de até 33°C. 01/03/2010/07h05. Disponível em <http://www.diariodepernambuco.com.br/VidaUrbana/nota.asp?materia=20100301070507>. Acesso em 09/04/2010. 15h.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Jornal do Clima. Brasil no Clima. O aquecimento é bom para a floresta? Rio de Janeiro.16/03/2010.Disponível em: <http://www.brasilnoclima.com.br/noticia.kmf?noticia=9666036&canal=345>. Acesso em 18/04/2010. 23:50h.

Jornal Terra. Chuva no Rio é a pior dos últimos 40 anos, diz prefeitura 06 de abril de 2010 18h58 atualizado em 08 de abril de 2010 às 11h42. Disponível em: <http://noticias.terra.com.br/brasil/noticias/00I4366484-EI8139,00.html>. Acesso em 09/04/2010. 19hs.

JUNIOR, O P; Naccarato, K P; Pinto, I R C A. Raios em grandes centros urbanos no Sudeste do Brasil. **Boletim da SBMET**. Vol. 32, nº 2-3, ago-dez. 2008.

KASNIER, L. J. Estatística Aplicada à Economia e Administração. Ed. Macgraw-Hill. São Paulo. 1982.

KAUFMAN, Y. J., Koren, I.: Smoke and pollution aerosol effect on cloud cover. Science, v. 313, p. 655-658, 2006.

KUCHARSKI, F; POLZIN, D; HASTENRATH, S. Teleconnection mechanisms of Northeast Brazil droughts: Modeling and Empirical Evidence. Ver. **Bras. Meteorol.** vol.23, n.2.São Paulo. 2008.

LATORRE, M R D O; Cardoso, M R A. Análise de Séries Temporais em Epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Rev. bras. epidemiol.** vol.4 nº. 3 São Paulo Nov. 2001.

LIMA, N. G. B. de, MELO, K. C., SANTOS, A. L. G., GALVANI, E. Variação da Umidade Relativa do Ar no Pico das Agulhas Negras, Itatiaia/RJ. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA**, 7, 2006.

MARENGO, J A, VALVERDE, M C. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC – AR 4. Multiciência. Campinas. 28p. 2007.

MARIANO, J B. Impactos ambientais do refino de petróleo. Ed.Interciência. 232p. RJ. 2005.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

MARINI, A. Aquecimento Global.. 40pp. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Escola Agro técnica Federal de Castanhal. 2007.

MET OFFICE - Met Office faz alerta sobre mudanças climáticas. 05 de março/2010. Disponível em: <http://www.ipam.org.br/noticias/Met-Office-faz-alerta-sobre-mudancas-climaticas/557>. Acesso em : 14/01/2011 as 12:28hs

MET OFFICE - Met Office -Near record temperatures in 2010 to be followed by cooler 2011.Disponível em: <http://www.metoffice.gov.uk/corporate/pressoffice/2010/pr20101202b.html>

Acesso em : 14/01/2011 as 12:28hs.

MOLION, L C B. Aquecimento Global, El Niño, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. Revista Climaanálise, ano 3, nº1. 2002.

MORAES, M J. Transportes e Emissões de CO₂: Uma abordagem baseada na metodologia do IPCCPP .109 – 118. 2009.

MUELLER, A. Uma Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Previsão do Mercado Acionário. Dissertação. Departamento de Pós Graduação em Engenharia de Produção. UFSC. Florianópolis. Julho. 1996.

NEW, M. Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa. , **J. Geophys. Research.** 2006.

NOBRE, Paulo. Aumento da Temperatura no Nordeste Brasileiro. 62ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). Natal (RN), de 25 a 30 de julho de 2010.

OLIVEIRA, M A; Fávero, L P L. Uma breve descrição de algumas técnicas para Análise de Séries Temporais: Séries de Fourier, Wavelets, ARIMA, Modelos Estruturais para Séries de Tempo e Redes Neurais. 2008. São Paulo. USP . V I S E M E A D .

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. IPCC, 2007. Quarto Relatório de Avaliação. Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas. 24p.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

PITTON, S. E. C; DOMINGOS, A. E. Tempo e doenças: efeitos dos parâmetros climáticos nas crises hipertensivas nos moradores de Santa Gertudres-SP. **Revista Estudos Geográficos**, Rio Claro. 2004. p. 75-86. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm>. Acesso em: 10 fev. 2010.

REBOUÇAS, A. C. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. vol.11 no.29 São Paulo Jan./Abr. 1997.

Revista Veja. Abril. Aquecimento Global. 30/12/2006, edição nº 1989, Disponível em: http://veja.abril.com.br/221204/p_182.html. Acesso em 15/04/2010. 2:09h.

RIBEIRO, A A. Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Mudança do Clima 2007: Mitigação da Mudança do Clima. Quarto Relatório de Avaliação do IPCC. 2007. Bancoc. 42pp.

RIBEIRO, C V; GOLDSHIMIDT, R R; CHOREN, R. Métodos para previsão de Séries Temporais e suas Tendências de Desenvolvimento. Monografia. 26p. Instituto Superior de Tecnologia. Rio de Janeiro. 2009.

ROPELEWSKI, C. The Great El Niño of 1997 and 1998: Impacts on Precipitation and Temperature. **Consequences**. Vol. 5. Nº 2, PP.17-25. 1999.

SALATI, E. Seminário Internacional: O papel dos combustíveis fósseis na sustentabilidade e segurança energética. 24p. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Junho, 2007.

SARACHIK, E S. The Application of Climate Information. **Consequences**. Vol. 5, Nº. 2, 1999.

SANTOS, M M O; Morales, M E C. Mudanças Climáticas e Tecnologia/Instituto Nacional de Tecnologia. Série Cadernos de Tecnologia 2. Rio de Janeiro. INT/DINT. 72p. 2009.

SILVA, J F. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia. A Nação se torna refém da irregularidade do Clima. Vol. 27 nº 2 . Agosto. 2003.

Secretaria de Planejamento Participativo, Obras e Desenvolvimento Urbano e Ambiental – SEPLAN . A cidade do Recife, aspectos gerais. Biblioteca/SEPLAN.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

SMITH, T. M. A Global Temperature Trends: 2008 Annual Summation (1880-2006), **J. Clima**, 21, 2283-2293. 2008.

SOARES, I d. Chuvas em Alagoas e Pernambuco – Um “tsunami” na região Nordeste do Brasil. Disponível em: <http://www.centrodemidias.info/profiles/blogs/chuvas-em-alagoas-e-pernambuco>.

Acesso em : 14/01/2010 as 11:22hs.

SONCIN, C. A. Uso de Modelos de Séries Temporais para Análise de Dados de Preços de Ações. São Paulo. 48ª Reunião da RBRAS e 10ª SEAGRO. 7 a 11 jul. 2003.

SOUZA, W M; AZEVEDO, P V. Avaliação de tendências das temperaturas em Recife – PE: mudanças climáticas ou variabilidade. Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal , v. 6, n. 3, p. 462-472, set /dez 2009.

STRANZ, E., BOSELLI, G., ALENCAR, A., Análise das Portarias de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública de 2003 a 2010. Confederação Nacional dos Municípios. Estudo Técnico. 14p. Maio. 2010.

TOMÉ E A, Latorre, M R D O. Tendências da mortalidade infantil no Município de Guarulhos: análise do período de 1971 a 1998. **Rev. Bras. Epidemiol.** 4:153-67. 2001.

VINCENT, L A; MEKIS, E. Changes in Daily and Extreme Temperature and Precipitation Indices for Canada over the Twentieth Century. *Atmosphere-Ocean*. 44 (2). 177-193.. 2006.

VUILLE, M, FRANCOU, B, WAGNON, P, BRADLEY, R S. Climate change and tropical Andean Glaciers: Past, present and future. *Earth Science Review*. 89. 79-96. 2008

ZANINI, A. Organização Meteorológica Mundial torna a fazer alerta sobre aquecimento global. Radio agência NP. Brasília. Abril. 2010.

<http://www.radioagencianp.com.br/node/>. Acesso em 15/04/2010. 1:26h.

Capítulo II – ARTIGO CIENTÍFICO

Título: Caracterização de Mudanças Climáticas na Cidade do Recife
Utilizando Séries Temporais

Rocha, J.V.C.; Santos, V.A.

Resumo - Foi realizada uma análise de parâmetros meteorológicos da Cidade do Recife, correspondente a um período de 19 anos (1990 a 2009), utilizando a metodologia estatística de séries temporais. A análise de séries temporais tem aplicações onde são necessárias previsões de demandas, por épocas, podendo ser utilizada no controle de estoques de medicamentos apropriados ao combate de epidemias. Os dados foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), no período de janeiro de 1989 a dezembro de 2009, permitindo a comparação e escolha entre modelos estatísticos, tendo o modelo das médias móveis apresentado melhor desempenho na previsão de parâmetros meteorológicos. As temperaturas máximas registradas entre os anos de 2003 a 2009, nos meses novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, variaram entre 30°C e 31,9°C, valores estes considerados acima da média climatológica.

Palavras-chave: Séries Temporais, Parâmetros meteorológicos, Modelos estatísticos, Modelo das médias móveis,

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Abstract – In the analysis of the behavior of a time series without trend and seasonality, such as weather conditions, models which incorporate moving averages can be used. An analysis of Recife meteorological parameters corresponding to a period of 19 years (1990 to 2009), by aid of statistical modeling is presented. Data were provided by the National Institute of Meteorology (INMET), Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA), allowing the comparison and choice among statistical techniques based on time series. Model averages moving had the best performance in data predicting. The maximum temperatures recorded between the years 2003 to 2009, during the months November, December, January, February, March and April, ranging between 30 ° C and 31.9 ° C, these values were considered above the climatological average.

Keywords: Temporal Series, Meteorological Parameters, Statistical techniques, Model averages moving.

2.1 Introdução

A variável de uma série caracteriza-se por flutuações significativas e incertezas, podendo culminar algumas vezes em prejuízo econômico ou de atendimento a uma nova e súbita demanda de determinado produto. Um exemplo disso é lembrado por Portela (2001), para o não armazenamento de produtos, de modo excessivo, em estoque nas farmácias hospitalares, o que implicaria em alto custo, e nem se permitir a falta dos mesmos ou *stockout*, com a possibilidade de ocasionar, em situações extremas, o óbito de pacientes. Esses fatores são críticos no gerenciamento de quaisquer produtos, uma vez que há a exigência de manter a disponibilidade dos mesmos, na mesma proporção da sua utilização, traduzindo a necessidade da formação de estoques. Sobre esse assunto Ballou (2001) cita que, caso a demanda por um produto em uma organização seja conhecida e os produtos possam ser fornecidos imediatamente para satisfazê-la, é desnecessário manter produtos armazenados em estoques.

Dentro de um cenário caracterizado por sucessivas restrições orçamentárias, como comentado no parágrafo anterior, o controle de recursos escassos deve aliar-se à sua utilização eficiente, visto que todo cidadão usará o serviço prestado por uma empresa, para sua qualidade de vida (NOVAES; GONÇALVES; SIMONETTI, 2006). Nesse sentido as séries temporais têm sido uma das técnicas estatísticas utilizadas para se fazer previsões (BROCKWELL, 1991), contando para isso com as facilidades disponibilizadas pelas planilhas eletrônicas – recurso de cálculo computacional disponível na maioria dos ambientes, empresarial ou não (BLOCH, 2004).

Na análise de uma série temporal, primeiramente deseja-se modelar o fenômeno estudado para, a partir daí, descrever o comportamento da série, fazer estimativas e, por último, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando definir relações de causa e efeito entre duas ou mais séries (BOX, 1994). A característica mais importante de uma série temporal é que as observações vizinhas são dependentes e estamos interessados em analisar e modelar esta dependência. Enquanto em modelos de regressão, por exemplo, a ordem das observações é irrelevante para a análise, em séries temporais a ordem dos dados é crucial. Vale notar também que o tempo pode ser substituído por outra variável como espaço, profundidade, etc.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Uma série histórica pode ser composta por três componentes não observáveis (DIGGLE, 1992): tendência (T), sazonalidade (S) e a variação aleatória denominada de ruído branco (R). A primeira escolha para a elaboração de um modelo seria a de um relacionamento aditivo destes componentes: $Y=T+S+R$. Pode-se construir, também, um modelo multiplicativo $Y=T \cdot S \cdot R$, ou realizar a transformação logarítmica no modelo multiplicativo, quando o mesmo se transforma no modelo log-linear. Ao analisar uma série histórica, deve-se estudar cada um destes componentes separadamente, retirando-se o efeito dos demais.

No presente trabalho algumas séries de dados meteorológicos da cidade do Recife, capital do Estado de Pernambuco, Região Nordeste do Brasil: precipitação pluviométrica (mm), temperatura média compensada mensal (°C), temperatura máxima média (°C), temperatura mínima média (°C) e umidade relativa do ar (%), no período compreendido entre janeiro de 1990 a dezembro de 2009. As séries de dados meteorológicos foram analisadas por diferentes técnicas estatísticas de séries temporais, para obtenção de gráficos que permitiram uma interpretação sobre as tendências e sazonalidades (McCULLOUGH; HEISER, 2008).

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Características meteorológicas

Variações espaciais e temporais numa infra-estrutura física e urbana e a vegetação são responsáveis basicamente pelas variações nos efeitos de urbanização sobre a umidade em uma região (KUCHARSKI; POLZIN; HASTENRATH, 2008). Entretanto, a redução da cobertura vegetal e a quantidade de vapor retido sobre a superfície são os principais fatores responsáveis pela baixa umidade dentro das cidades. A tendência de aquecimento observada nos últimos anos, que tem modificado a temperatura média em escala global e hemisférica, pode estar relacionada com o crescimento urbano ao redor das estações meteorológicas, visto que os efeitos de ilha de calor produzem uma variação na temperatura, similar ao relacionamento com o aumento do efeito estufa dos gases na atmosfera.

Sabe-se que o processo de degradação ambiental ocorre de várias maneiras e em vários níveis temporais e espaciais, portanto, a temperatura do ar associada a outros fenômenos como ilha de calor, poluição do ar, chuvas intensas, inundações e desabamentos estão inter-relacionados e devem ser compreendidos por meio do estudo das variabilidades e mudanças de comportamento das diversas variáveis meteorológicas (UVO *et al.*, 1998).

Num processo de urbanização, a poluição do ar afeta a transferência de radiação, aumentando o número de núcleos de condensação no ar, e assim propicia aumento da precipitação. A densidade e a geometria dos prédios criam uma superfície rugosa que influenciam a circulação do ar e o transporte de calor de vapor d'água. Os materiais de construção e o asfaltamento das ruas aumentam o armazenamento de calor, e a impermeabilização do solo aumenta a possibilidade de enchentes. Esses fatores, associados a outros, alteram o balanço de energia e favorecem a formação de ilhas de calor. Lombardo (1985) afirma que a poluição do ar e ilhas de calor constituem exemplos importantes das alterações que o processo urbano impõe às condições climáticas locais (TSONIS; ELSNER, 1999).

A ilha de calor urbana corresponde a uma área na qual a temperatura do ar é mais elevada do que nos seus arredores, o que propicia o surgimento de uma circulação característica do ar. Ao analisar o crescimento de cidades e a degradação da qualidade de vida nas grandes aglomerações dos países de crescimento acelerado, o autor concluiu também que as pessoas se tornam mais vulneráveis às enfermidades cardiovasculares, principalmente as de idade avançada, e que o tamanho cada vez maior das cidades passa a ser inconveniente à população. Munn (1996) explica que uma das causas da formação de ilha de calor nas cidades é a redução da evaporação (pela ausência da vegetação e água disponível); a radiação solar que não é usada na evaporação é conduzida para o aquecimento das ruas, dos edifícios e do ar da cidade.

2.2.2 Parâmetros meteorológicas utilizados

Os parâmetros meteorológicos de: precipitação total (mm), umidade relativa do ar (%), temperatura média compensada mensal, temperatura média mínima mensal e temperatura média máxima mensal. Foram obtidos da Estação Climatológica Principal de Recife, localizada no bairro de Curado, Recife – Pernambuco (Latitude: 08° 03' S; Longitude: 034° 57' W; Altitude: 10 m), gentilmente cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Os referidos dados abrangem o período de janeiro de 1990 a dezembro de 2009, sendo portanto uma série de dados com 19 anos de duração. A apresentação desses parâmetros meteorológicos na forma de pontos individuais tem somente referência à organização do texto em si, uma vez que a Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1995) impõe que a análise de cada parâmetro se dê em função dos demais, buscando compreender-lhes a interação, numa forma de se poder melhor avaliar o conjunto dos dados.

A heterogeneidade de repartição temporal se constitui numa característica básica do regime pluviométrico da região nordeste do Brasil, embora seja mais atenuada na faixa litorânea e bem mais destacada no Sertão. Assim sendo, alguns anos caracterizam-se por uma pluviosidade excessiva, enquanto em outros anos a chuva ocorre de forma escassa, com situações de estiagem, por vezes dentro de uma condição extremamente prolongada (FILHO et al, 2002).

A umidade relativa do ar é tomada em referência ao ar atmosférico, e este por sua vez é influenciado tanto pela temperatura, quanto pela pluviometria. A umidade relativa do ar pode ser definida então como a relação entre a pressão do vapor d água na atmosfera e a pressão desse vapor saturado à mesma temperatura. Isso significa que a umidade relativa é uma razão, e assim expressa em porcentagem. A cidade de Recife apresenta valores muito elevados para a umidade relativa do ar, onde a influência deverá estar condicionada às correntes eólicas advindas do litoral.

A temperatura é o parâmetro climático mais estável, com relação aos demais. As suas flutuações se fazem nos diferentes horários de observação (12:00, 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich); nas observações seqüenciais pouco

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

mudam nos horários comuns. Para se ter uma visão mais realista deste parâmetro às análises são feitas em seus extremos (temperaturas máxima e mínima); observadas nos horários de 24:00 e 12:00 TMG, e a média compensada é obtida pela relação a seguir:

$$T_{MC} = \frac{T_{12} + 2 \cdot T_{24} + T_{Máx} + T_{Min}}{5} \quad (1)$$

Em que:

T_{12} - temperatura das 12 horas TMG

T_{24} - temperatura das 24 horas TMG

$T_{Máx}$ - temperatura máxima diária

T_{Min} - temperatura mínima diária

De posse da temperatura média compensada mensal, pode-se basear os estudos subseqüentes num único parâmetro de temperatura, que em sua definição denota um menor grau de incerteza quanto às médias simples.

2.2.3 Procedimentos de análise

Gráfico de linha

A primeira etapa para a análise de uma série temporal é dispô-la em uma planilha de forma que facilite a obtenção de um gráfico de linha (McCULLUOGH; HEISER, 2008). Num gráfico desse tipo, no eixo horizontal são colocados os períodos da série e, no eixo vertical, os valores da série. Os pontos são ligados por linhas para facilitar uma visualização do comportamento. O Apêndice 1 apresenta passo a passo o roteiro completo com auxílio da planilha Excel, Versão 2007.

Obtenção de tendência para a série

Modelo linear

Para identificar a tendência numa série pode-se adicionar uma linha de tendência, por exemplo, linear, ao gráfico de linhas da série temporal, juntamente com a equação correspondente. Em seguida, procede-se de forma a se obter uma linha de tendência por ajuste de um modelo matemático (linear, por exemplo) aos dados experimentais, para a série em análise. Pode-se então observar uma inclinação positiva ou negativa da linha de tendência dos valores da série em análise.

Pode-se calcular o valor numérico da tendência, utilizando a equação mostrada no gráfico, para que seja possível obter outros componentes da série. Calcula-se a componente tendência para cada período da série com a equação do modelo matemático utilizado e, marcando a célula inicial de cálculo, faz-se o preenchimento das demais células na coluna correspondente.

Média Móvel Simples

Ao se optar por uma média móvel para se caracterizar a tendência de uma série, caminha-se na direção de um aspecto crítico que é definir a sua ordem, ou quantos períodos serão englobados por vez, e obter valores numéricos para a respectiva tendência da série. Ao lidar com dados anuais pode-se escolher um número ímpar de períodos, o que facilita o processo por eliminar a necessidade de centrar as médias (MORETTIN, 2004). Quanto maior o número de períodos, mais “ajustada” será a tendência resultante por uma média móvel, possibilitando observar, com precisão, o comportamento a longo prazo da série.

No caso em questão, os dados meteorológicos foram registrados mensalmente e isso obriga a calcular médias móveis de 12 períodos, uma vez que há 12 meses num ano, para que seja removido o efeito das variações sazonais. Como o número de períodos é par, é preciso centrar as médias.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Pode-se observar que, no caso de períodos mensais, após centrar os totais móveis "sobram" seis períodos em branco no início da série (de janeiro a junho de 1990, por exemplo), e seis no final (de julho a dezembro final da tabela), exatamente metade do número de meses do ano. Caso os dados fossem trimestrais (há 4 trimestres no ano), haveria dois períodos em branco no início e dois no final da série.

Média Móvel com Suavização Exponencial

Outra forma de obter a tendência é através do ajuste por média móvel do tipo exponencial. Consiste em aplicar uma média móvel, exponencialmente ponderada, por uma constante de regularização W (BOX, 1994), a qual varia entre 0 e 1. Quanto mais próxima de 1, mais o ajuste exponencial acompanhará a série original, e quanto mais próxima de zero, mais o ajuste refletirá o comportamento de longo prazo. Como no presente caso deseja-se caracterizar a tendência da série, pode-se utilizar uma constante $W = 0,1$ e proceder o ajuste através da equação:

$$E_i = W \cdot Y_i + (1 - W) \cdot E_{i-1} \quad (2)$$

Em que:

i - um período de tempo qualquer;

Y_i - valor da série original no período i ;

E_i - valor da série exponencialmente ajustada no período i ;

E_{i-1} - valor da série exponencialmente ajustada no período $i-1$ (período anterior);

W - constante de regularização ou coeficiente de ajuste ($0 < W < 1$);

Considera-se que o primeiro valor da série original será igual ao primeiro valor ajustado, isto significa que o ajuste realmente começa a partir do segundo período da série.

A componente tendência pode ser utilizada posteriormente para duas finalidades:

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

- removida para que se possam obter outras componentes da série temporal (supondo um modelo clássico);
- utilizada para fazer previsões para períodos futuros.

2.2.4 Índices de sazonalidade

As variações sazonais são aquelas que ocorrem regularmente no período de um ano. Nas séries meteorológicas de temperatura do ar normalmente a temperatura é maior no verão e menor no inverno o que mostra claramente uma variação de período anual. Nos estudos climatológicos a componente sazonal das séries temporais é muito intensa, principalmente nas regiões extratropicais. É conveniente utilizar procedimentos para avaliar a sazonalidade e métodos de previsão que considerem o efeito das flutuações sazonais sobre as variáveis, pois quanto mais informações se tiverem sobre o comportamento dessas variáveis, mais acurada será a previsão (REBOITA, 2005).

Ainda, segundo o mesmo autor, o número de índices é essencial, pois determinará a ordem das médias móveis que serão calculadas para obter os índices sazonais, supondo o uso do método da razão para a média móvel. Além disso, dependendo da escolha por um modelo aditivo ou multiplicativo os procedimentos serão diferentes.

No caso, por exemplo, da temperatura média compensada mensal, a série foi registrada mensalmente e, portanto, precisa-se calcular 12 índices, e verificar se a influência da sazonalidade é significativa. Como isso realmente ocorria, a componente sazonal foi incluída no modelo da série que será usado para fazer previsões.

Nesse caso, a primeira etapa foi calcular as médias móveis de 12 períodos centradas. Obteve-se os índices sazonais, de acordo com o modelo escolhido, para cada período da série, da seguinte forma:

- no modelo aditivo, índice = valor de temperatura – média móvel de 12 períodos centrada;

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

- no modelo multiplicativo, índice = valor de temperatura/média móvel de 12 períodos centrada.

No caso em questão, tais operações foram feitas para os períodos da série que apresentaram médias móveis calculadas, ou seja, foram excluídos os 6 primeiros e os 6 últimos.

No modelo aditivo é preciso inicialmente calcular as médias aritméticas simples dos índices de cada mês. Calculam-se então as médias progressivamente, selecionando os índices sazonais referentes aos meses de janeiro, fevereiro, março, etc. Há 19 índices para cada mês: a série tem 20 anos (240 meses), portanto 19 janeiros, 19 fevereiros, 19 marços, etc. Contudo, devido ao processo de obtenção das médias móveis de 2 períodos centradas, 12 meses foram descartados, resultando que sobraram 18 janeiros, 18 fevereiros, 18 marços, etc. No modelo aditivo há influência da sazonalidade se os índices sazonais forem substancialmente diferentes de zero.

2.3 Resultados e Discussão

Temperatura média compensada mensal (TMCM)

A Figura 2.3.1 corresponde à evolução temporal das médias mensais de temperatura compensada do ar. Observa-se no referido gráfico que a linha de tendência obtida tem inclinação positiva, demonstrando que o valor de temperatura média compensada tem aumentado no período de análise dos dados.

As Figuras 2.3.2 e 2.3.3 correspondem aos gráficos das médias móveis simples e exponencial dos dados. Observa-se, ao longo de toda a série, que os valores de temperatura média compensada obtidos das médias móveis oscilam entre 23 e 28 °C, flutuando em torno de 26 °C, que parece ser o comportamento de longo prazo, tal como foi concluído ao se analisar a tendência linear. Além disso, pode-se observar outro comportamento muito interessante através das médias móveis:

- observam-se os “altos e baixos” das médias móveis, em relação ao nível de 26 °C;

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

- aproximadamente até o período 36 os valores estão abaixo de 26 °C (com exceção dos 4 primeiros períodos para o modelo a média móvel exponencial);
- começam então a crescer e vão até o período 111, quando oscilam daí por diante muito próximo de 26 °C e;
- em média, existe um aumento na temperatura média compensada mensal.

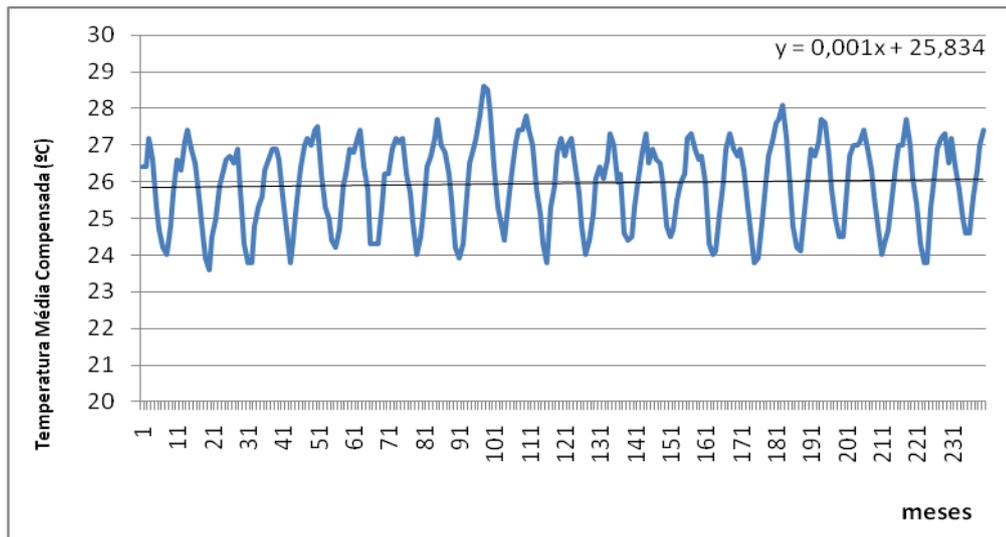


Figura 2.3.1 – Oscilações da TMC em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência obtida por regressão linear

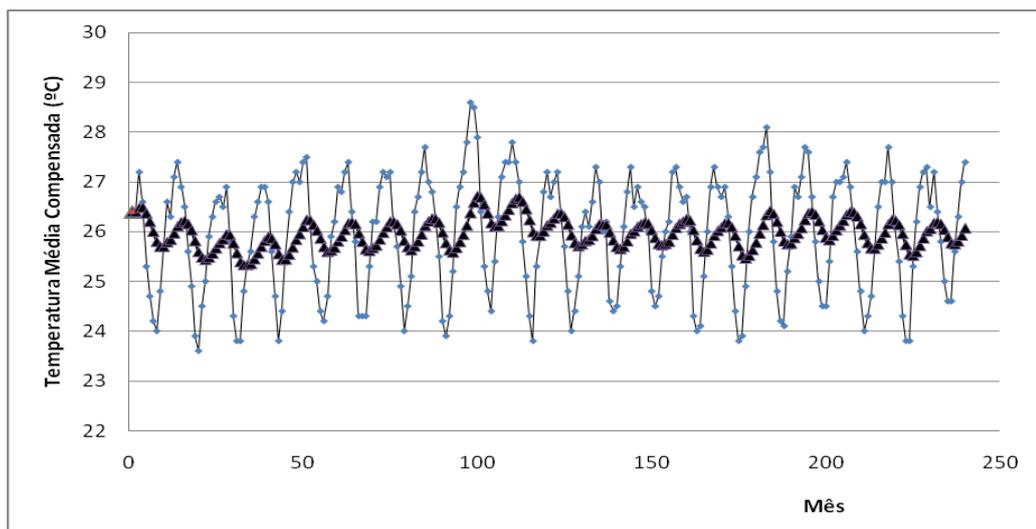


Figura 2.3.2 – Oscilações da TMC em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por médias móveis simples

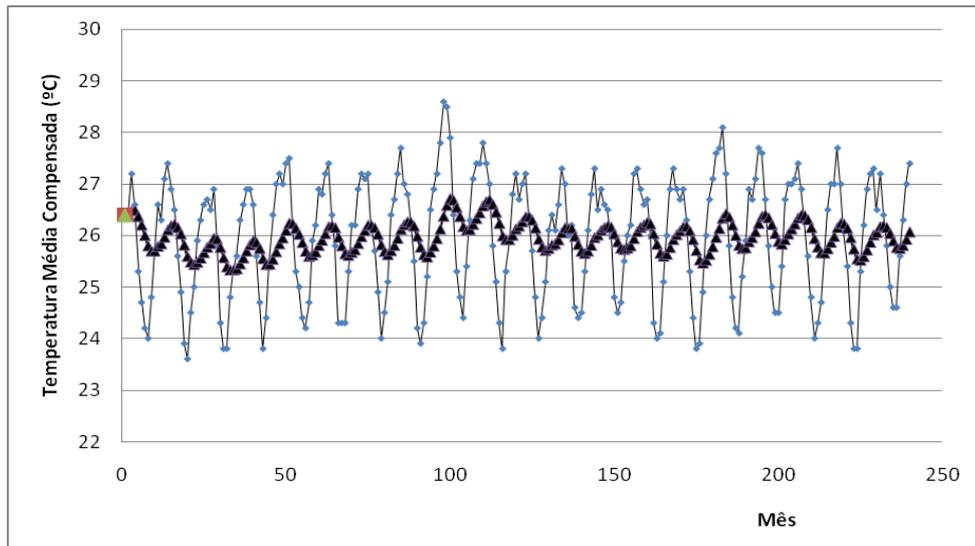


Figura 2.3.3 - Oscilações da TMC em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel exponencial

Observa-se ainda (Tabela 2.1), com auxílio de índices sazonais, que nos meses de janeiro a março, ocorre uma anomalia em que há aumento nas temperatura, que chega a 1,3 °C, em fevereiro, em relação à média mensal. A partir de abril inicia-se uma queda substancial, havendo uma redução de quase 2 °C (-1,77 °C) em agosto em relação à média mensal caracterizando uma anomalia negativa.

A Tabela 2.2 apresenta diferenças entre as médias obtidas das duas décadas estudadas, podendo-se observar valores positivos entre 0,1 e 0,3 para os meses de maio, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, valor 0,0 para os meses de janeiro e junho e negativos para os meses de fevereiro, março e abril.

Tabela 2.1 - Representação das Médias e Índices Sazonais de TMCM (°C)
em Recife (1990-2009)

Mês	Média Sazonal	Índices Sazonal
Janeiro	1,11	1,11
Fevereiro	1,30	1,30
Março	1,21	1,21
Abril	0,59	0,59
Mai	-0,21	-0,21
Junho	-1,24	-1,24
Julho	-1,77	-1,76
Agosto	-1,78	-1,77
Setembro	-0,87	-0,87
Outubro	0,00	0,00
Novembro	0,62	0,62
Dezembro	0,99	1,00
Soma	-0,,04	0,00
Excesso	-0,00	

Tabela 2.2 - Diferenças de TMCM obtidas entre as duas décadas
do período 1990 a 2009

Década	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Primeira	27,0	27,3	27,2	26,6	25,7	24,7	24,1	24,1	25,0	25,9	26,5	26,9
Segunda	27,0	27,2	27,1	26,5	25,8	24,7	24,2	24,3	25,2	26,0	26,7	27,0
Diferença	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1

Temperatura Máxima Média Mensal (TMáxMM)

A Figura 2.3.4 exibe a linha de tendência positiva para o período estudado em relação à temperatura máxima média mensal, por regressão linear. Observe-se que a linha inicia-se no valor abaixo de 30°C e ascende até a linha dos 30°C.

As Figuras 2.3.5 e 2.3.6, que corresponde aos gráficos ajustados pelas médias móveis simples e exponencial, respectivamente, observando-se o comportamento da linha, na maioria dos períodos, próximo ao valor 30°C, principalmente na segunda década.

A Tabela 2.3 mostra a diferença entre as médias mensais da normal climatológica do período (1990 a 1999) e do segundo período (2000 a 2009). É possível observar que os valores foram positivos na maioria dos meses do último período caracterizando um aumento da temperatura para a região em estudo.

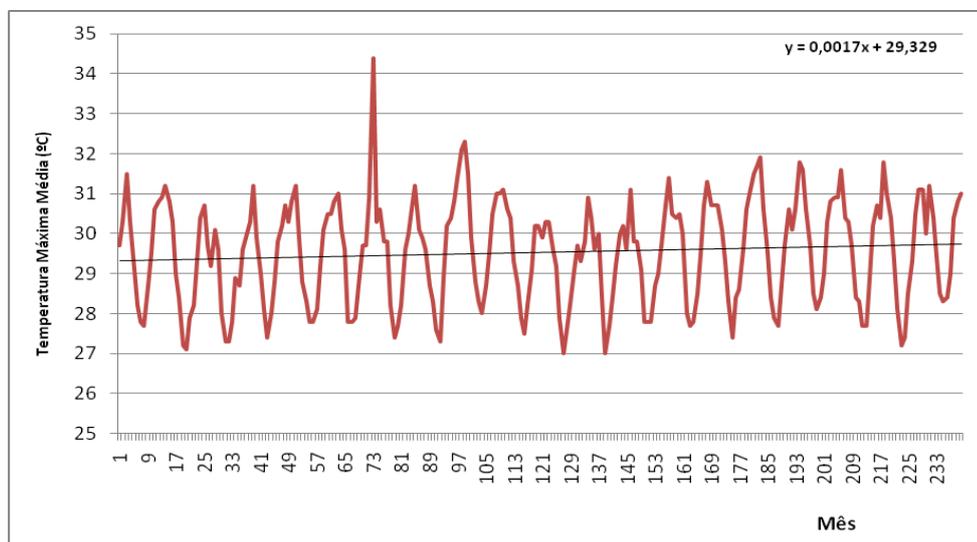


Figura 2.3.4 – Oscilações da TMáxMM em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência obtida por regressão linear

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

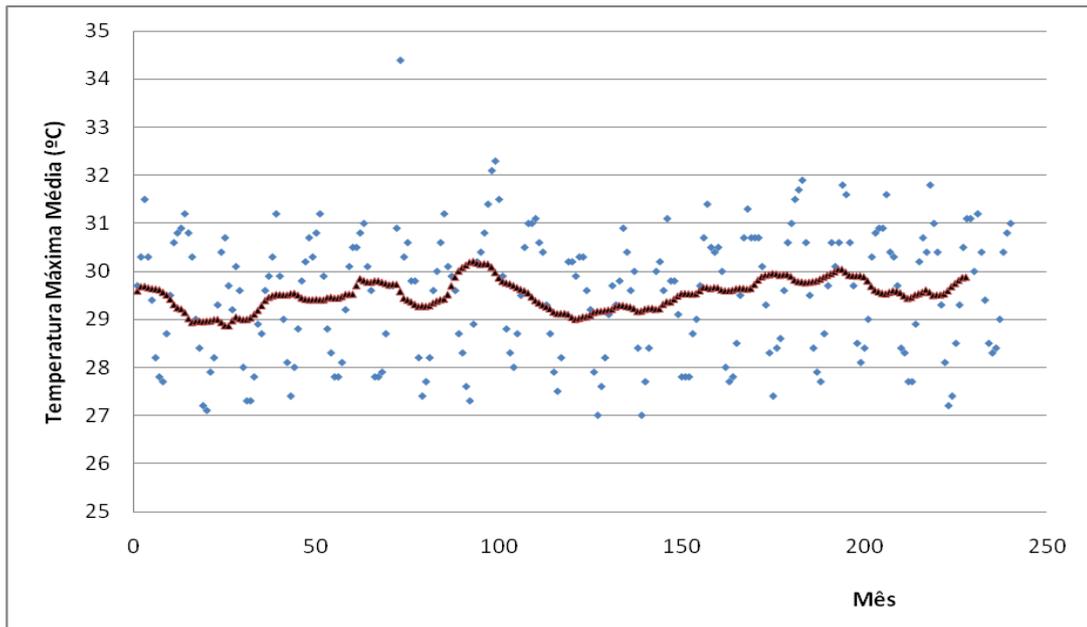


Figura 2.3.5 – Oscilações da TMáxMM em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel simples

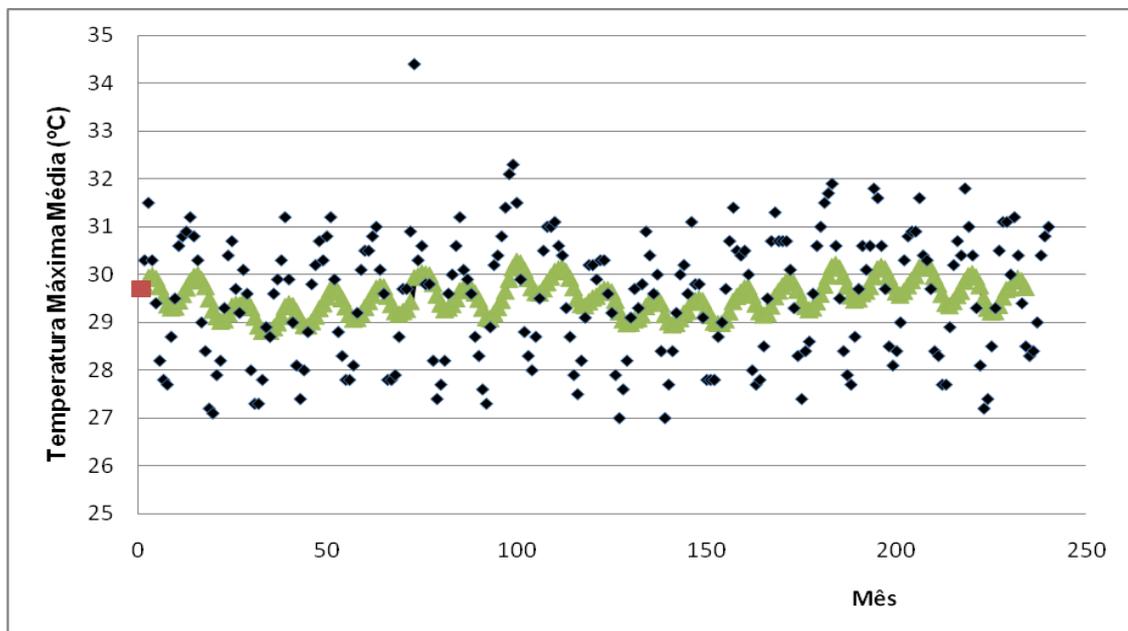


Figura 2.3.6 - Oscilações da TMáxMM em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel exponencial

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

A Tabela 2.3 corresponde à média das temperaturas máximas mensais observadas na primeira década (1990/1999) e na segunda década (2000/2009). A diferença mostra a evolução da temperatura máxima de uma década em relação à outra. Os valores positivos mostram que a segunda década foi mais quente que a primeira em 9 meses.

Tabela 2.3 - Temperatura máxima: diferença entre as médias mensais por década do período 1990 a 2009

Década	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Primeira	30,6	30,7	30,7	30,2	29,3	25,4	27,6	27,6	28,4	29,4	29,9	30,5
Segunda	30,6	30,9	30,8	30,2	29,5	25,7	27,8	27,9	28,5	29,5	30,4	30,6
Diferença	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,5	0,1

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

A Tabela 2.4 correspondente aos índices sazonais de temperatura máxima média mensal e observa-se que há seis meses com valores positivos destacando o mês de fevereiro com (+1,29) valor considerado acima da média climatológica, e seis meses com valores negativos, dos quais, o mês de agosto registrou o menor índice (-1,77) abaixo da média climatológica caracterizando uma anomalia de temperatura.

Tabela 2.4 - Valores das Médias e Índices Sazonais de Temperatura Máxima Média Mensal (°C) em Recife de 1990 a 2009

Aditivo	Média Sazonal	Índice Sazonal
Janeiro	1,25	1,208
Fevereiro	1,33	1,29
Março	1,23	1,19
Abril	0,71	0,66
Maio	-0,00	-0,04
Junho	-1,09	-1,14
Julho	-1,20	-1,24
Agosto	-1,72	-1,77
Setembro	-1,10	-1,15
Outubro	-0,20	-0,25
Novembro	0,43	0,39
Dezembro	0,90	0,86
Soma	0,53	0,0
Excesso	0,04	

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Temperatura mínima média mensal (TMínMM)

As Figuras 2.3.7, 2.3.8 e 2.3.9 mostram o gráficos obtidos pela regressão linear, média móvel simples e exponencial, respectivamente, onde se podem observar os comportamentos ascendente ao longo da série em quase todos os períodos, caracterizando uma anomalia de aumento da temperatura mínima.

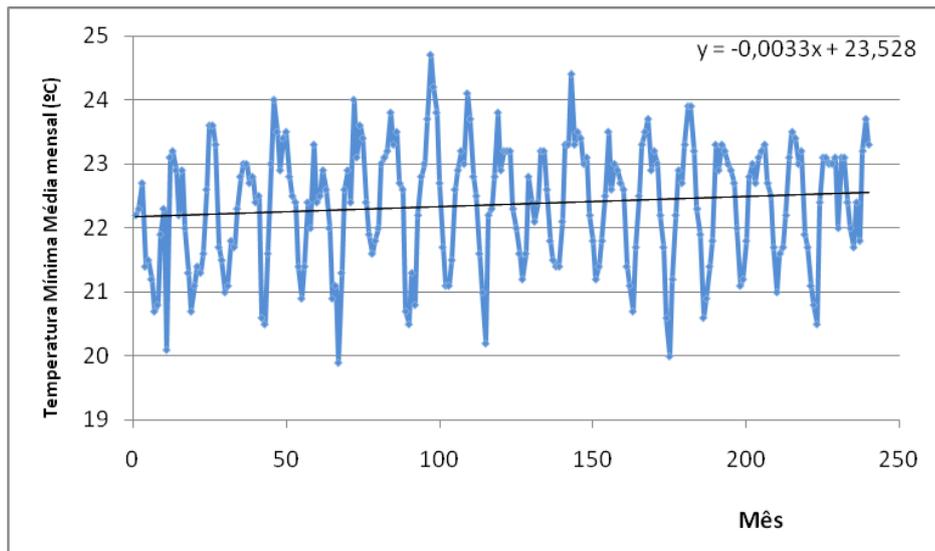


Figura 2.3.7 - Oscilações da TMinMM em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência obtida por regressão linear

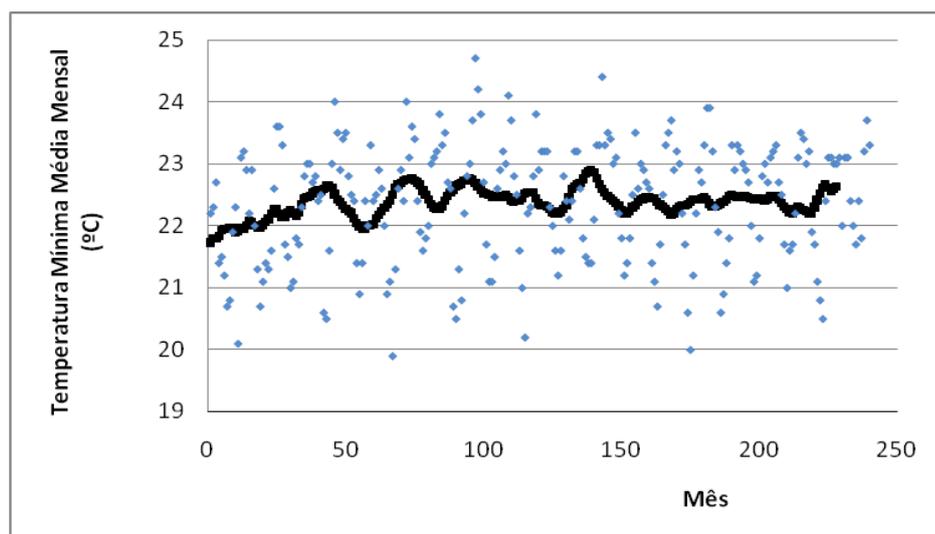


Figura 2.3.8 – Oscilações da TMínMM em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel simples

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

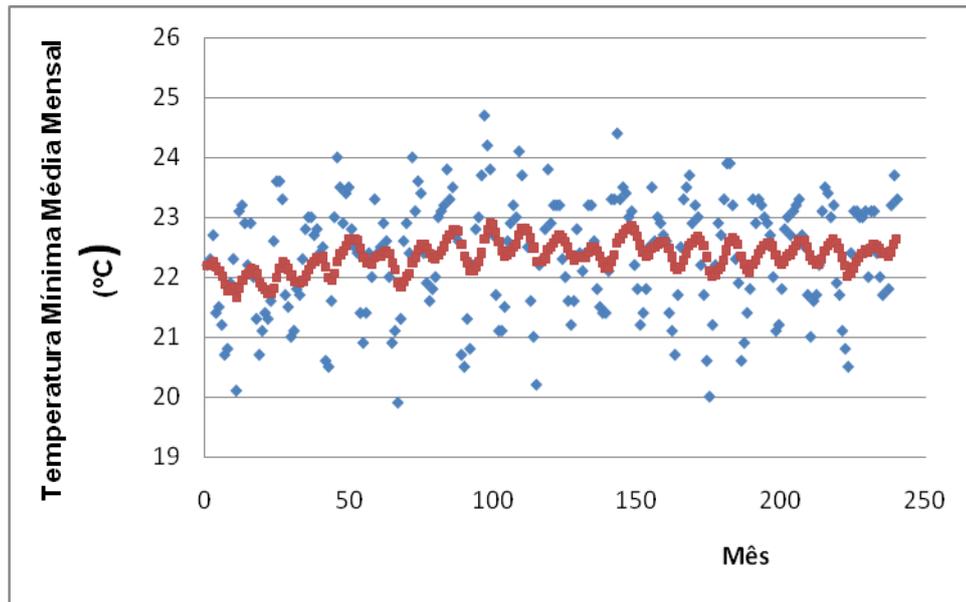


Figura 2.3.9 - Oscilações da $T_{MínMM}$ em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel exponencial

Na Tabela 2.5 pode-se observar que os índices sazonais dos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro, foram negativos com destaque para o mês de agosto com (-1,46) abaixo da média. Os valores negativos observados nos meses de agosto, setembro e outubro caracterizam uma possível alteração climática para a região em estudo. Os meses de novembro a maio apresentaram valores positivos considerados acima da média. A Tabela 6 mostra que o segundo semestre da segunda década (2000 a 2009) foi mais aquecido do que a primeira (1990 a 1999).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Tabela 2.5 - Valores das médias e Índices sazonais de temperatura mínima mensal em Recife (1990 – 2009)

Mês	Média Sazonal	Índice Sazonal
Janeiro	0,75	0,73
Fevereiro	0,94	0,92
Março	0,87	0,86
Abril	0,49	0,48
Maio	0,03	0,02
Junho	-0,64	-0,65
Julho	-1,25	-1,26
Agosto	-1,45	-1,46
Setembro	-0,74	-0,75
Outubro	-0,00	-0,01
Novembro	0,45	0,44
Dezembro	0,69	0,68
Soma	0,15	0,0
Excesso	0,012842982	

Tabela 2.6 - Temperatura mínima: diferença entre as médias mensais por década do período 1990 a 2009

Década	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Primeira	23,1	23,3	23,3	22,9	22,3	21,6	21,0	20,8	21,4	22,3	22,6	22,7
Segunda	23,1	23,2	23,2	22,8	22,4	21,8	21,2	21,0	21,8	22,5	23,0	23,2
Diferença	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,5

Precipitação Média Mensal

A Figura 2.3.10 mostra a linha de tendência positiva observada no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2009. A precipitação atingiu picos maiores durante os meses de abril, maio, junho e julho dos quais o mês de junho de 2005 registrou o valor máximo de 709 (mm) sendo considerado o maior da série e o mínimo de 8,7 (mm), o menor da série, no mês de novembro do mesmo ano. O ano de 1998, considerado mais quente da série em estudo apresentou Índice Pluviométrico Máximo de 277,8 e mínimo de 15,8 (mm). O trimestre que apresentou menor núcleo de precipitação acumulada foi o último tendo os meses de outubro e novembro registrado 8,7 (mm) nos anos de 2005 e 2006 respectivamente.

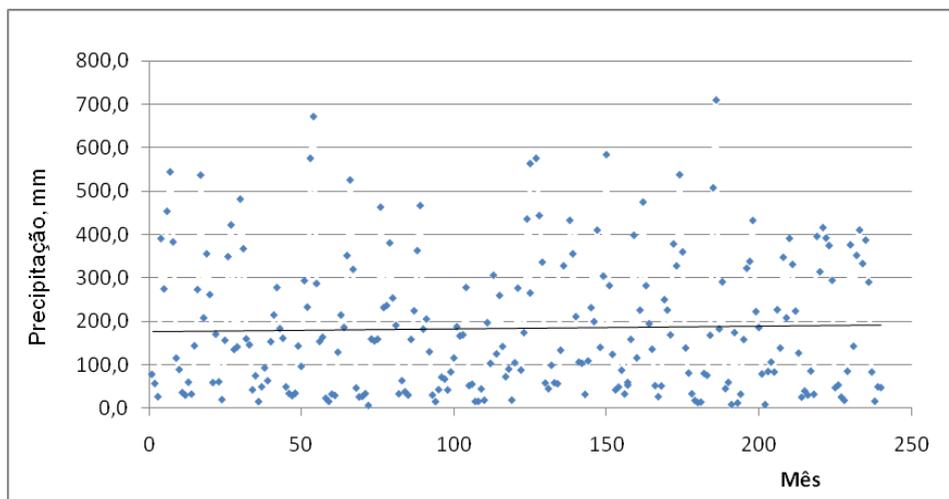


Figura 2.3.10 – PMM em Recife (1990-2009) e linha de tendência obtida por regressão linear

As Figuras 2.3.10, 2.3.11 e 2.3.12 correspondem aos modelos de precipitação média mensal, obtidos por regressão linear, médias móveis simples e exponencial, respectivamente. Pode-se observar que entre os períodos de 11 a 18, 28 a 50, 58 a 73, 83 a 121, 133 a 138, 151 a 163, 175 a 187 e 192 a 216 a precipitação acumulada permaneceu abaixo da média histórica.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

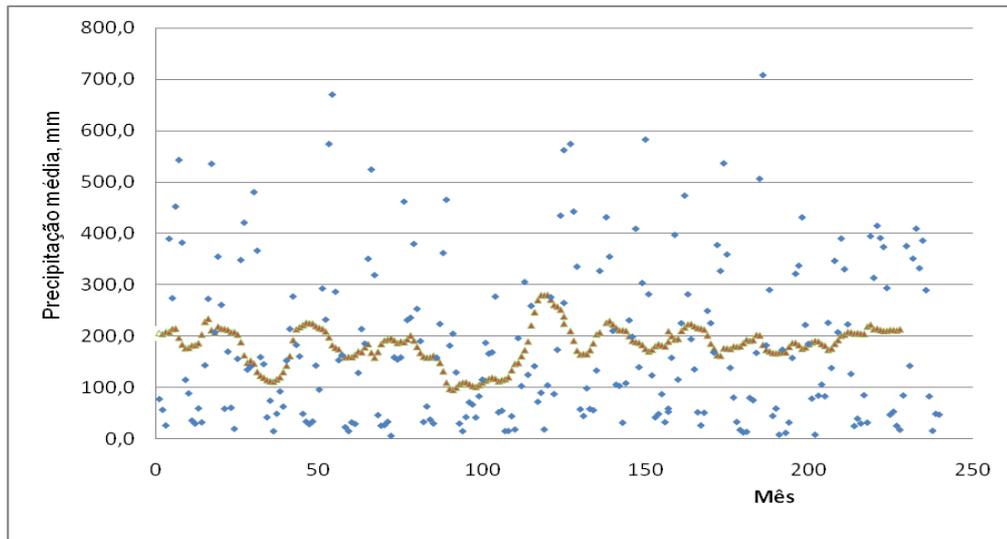


Figura 2.3.11 - Oscilações da precipitação média em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel simples

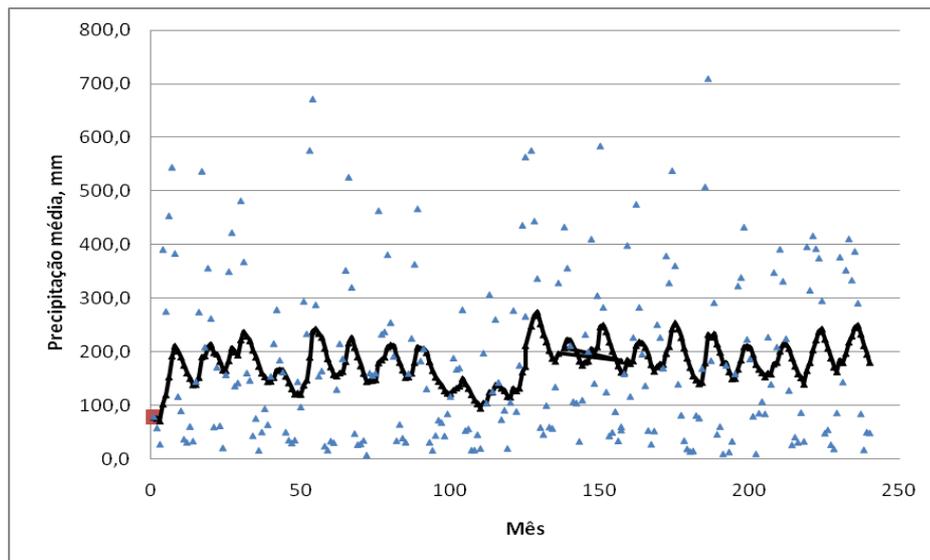


Figura 2.3.12 - Oscilações da precipitação média em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel exponencial

Os meses de abril, maio, junho e julho de 2005 a 2009 foram marcados por chuvas moderadas a fortes em toda a Região Metropolitana do Recife. A variabilidade das chuvas na região metropolitana na época chuvosa é diretamente influenciada pelas temperaturas das superfícies de ambos os oceanos tropicais, Atlântico e Pacífico, que modulam o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical, que é o principal sistema causador de precipitação do Nordeste (BEZERRA, 2008).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

A Tabela 2.7 mostra a representação das médias e índices sazonais de Precipitação (mm) em Recife de 1990 a 2009. Nota-se que os índices sazonais apresentaram seis (06) meses com valores negativos tendo o mês de novembro registrado o maior valor abaixo da média (- 143,1) e seis meses com valores positivos tendo destaque o mês de junho com (+223,9), acima da média.

Tabela 2.7 - Valores das Médias e Índices Sazonais de Precipitação (mm) em Recife (1990 a 2009)

Aditivo	Média Sazonal	Índice Sazonal
Janeiro	-82,9	-82,7
Fevereiro	-43,4	-43,2
Março	16,7	16,9
Abril	72,8	73,1
Maior	130,7	131,0
Junho	223,7	223,9
Julho	134,5	134,7
Agosto	31,3	31,5
Setembro	-82,9	-82,7
Outubro	-129,4	- 129,1
Novembro	-143,3	- 143,1
Dezembro	-130,5	- 130,3
Soma	-2,8	0,0
Excesso	-0,229299342	

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

A Tabela 2.8 correspondente a representação dos valores de Precipitação Média por década, evidencia que a segunda década (2000 a 2009) apresentou maior precipitação durante os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, junho, julho, agosto e dezembro caracterizando uma possível anomalia climatológica de precipitação.

Tabela 2.8 – Precipitação média: diferença entre as médias mensais por década no período 1990 a 2009

Década	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Primeira	82	112	183	240	308	333	307	197	89	58	41	37
Segunda	115	147	219	277	306	485	335	240	46	46	40	68
Diferença	33	35	36	37	-22	152	28	43	-43	-12	-1	31

Umidade Relativa do Ar

O ar atmosférico sempre contém quantidade variável de vapor de água conforme a temperatura, região, estação, etc. Esse vapor, resultante da evaporação das águas dos mares, rios e lagos, sobretudo pela ação do calor solar, sobem na atmosfera e passa a fazer parte de sua composição. (COSTA, 2003).

Quando a Umidade Relativa do Ar encontra-se em níveis muito baixos, em regiões onde o inverno é quente e seco, a qualidade do ar piora com a concentração da poluição, provocando o aparecimento de distúrbios respiratórios devido ao ressecamento das mucosas. O percentual ideal está entre 50% a 80%, porém, regiões como São Paulo podem atingir níveis baixos em torno de 12%. Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde), a escala para a umidade relativa do ar é de atenção (20% a 30%), alerta (12% a 20%), e alerta máximo (abaixo de 12%). LIMA, 2006

A existência de água na atmosfera e suas mudanças de fases desempenham papel fundamental em vários processos físicos naturais, como o transporte e a

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

distribuição de calor na atmosfera, a evaporação e transpiração, a absorção de diversos comprimentos de onda da radiação solar e terrestre, bem como a formação vegetal predominante em uma determinada localidade (DELGADO, 2007)

A umidade relativa do ar é influenciada por alguns importantes controles climáticos como a temperatura, mesmo que não ocorra aumento ou diminuição em seu conteúdo de umidade. O uso de métodos de estimativa da umidade relativa do ar pode ser de grande utilidade, tanto ao setor agrícola como a qualquer outro. O conhecimento da umidade relativa do ar e suas interações com outros elementos meteorológicos ajudam no planejamento, manejo e gestão dos recursos hídricos (BELTRÃO, 2003).

A Figura 13 mostra o gráfico da média mensal de umidade relativa do ar com a linha de tendência para a série estudada. Por Recife ser uma cidade litorânea a umidade relativa do ar se mantém ao longo dos anos com valores próximos à média histórica..

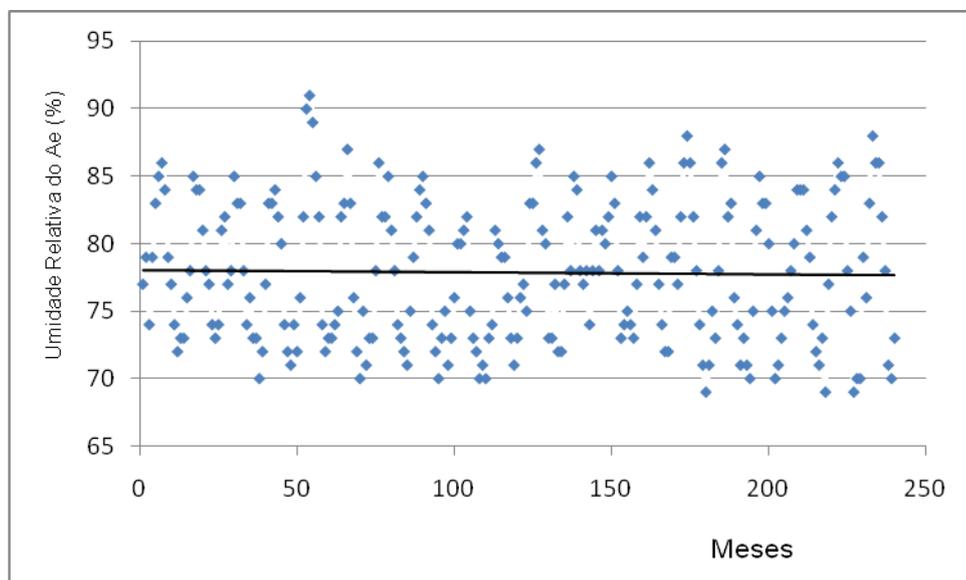


Figura 2.3.13 – Umidade relativa em Recife (1990-2009) e linha de tendência obtida por regressão linear

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Nas Figura 2.3.14 e 2.3.15 pode-se observar os comportamentos das linhas de tendência ao longo da série fluando abaixo da média em quase todos os períodos. Apesar desses valores serem considerados altos em comparação a outras regiões do Brasil, para o Recife são considerados baixos por ser uma cidade litorânea. Com a queda da umidade relativa ocorre o aparecimento de doenças respiratórias.

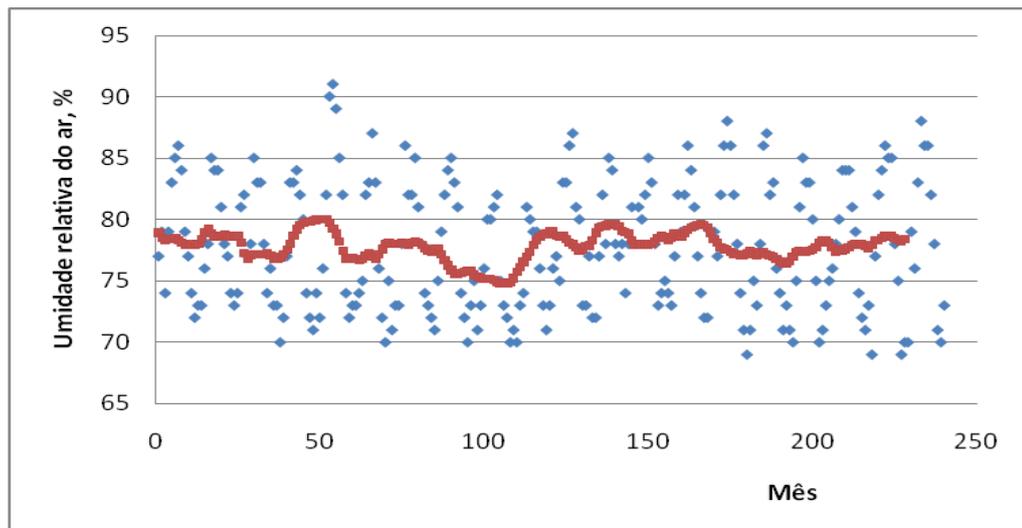


Figura 2.3.14 - Oscilações da umidade relativa do ar em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel simples

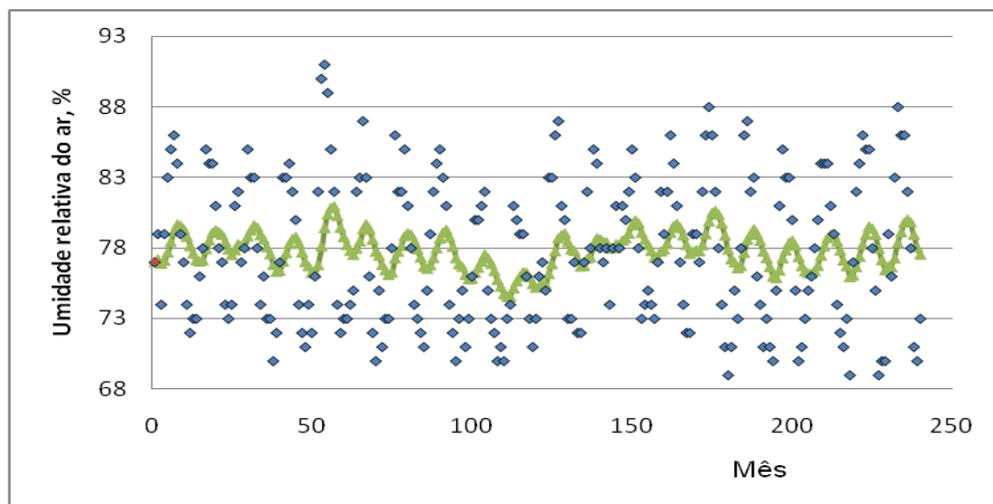


Figura 2.3.15 - Oscilações da umidade relativa do ar em Recife (1990-2009) e respectiva linha de tendência por média móvel exponencial

Observa-se na Tabela 2.9 que ocorreram valores negativos entre os meses de janeiro a março e setembro a dezembro com destaque para os meses de novembro com valor negativo de (-5,4) e junho com valor positivo de (7,1).

Tabela 2.9 - Valores das Médias e Índices Sazonais da Umidade Relativa do Ar

Mês	Média Sazonal	Índice Sazonal
Janeiro	-4,6	-4,3
Fevereiro	-3,9	-3,6
Março	-1,6	-1,3
Abril	2,1	2,4
Maio	5,2	5,5
Junho	6,8	7,1
Julho	5,8	6,1
Agosto	3,1	3,4
Setembro	-1,0	-0,7
Outubro	-4,2	-3,9
Novembro	-5,7	-5,4
Dezembro	-5,6	-5,3
Soma	-3,5	0,0
Excesso	-0,292781	

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Na Tabela 2.10 observa-se que a umidade relativa do ar apresentou maiores percentuais na segunda década.

Tabela 2.10 – Umidade Relativa: diferença entre as médias mensais por década no período 1990 a 2009

Década	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Primeira	73,4	73,8	75,8	79,3	82,9	84,2	83,7	81,4	77,2	73,8	72,9	71,2
Segunda	74,1	75,2	77,1	88,4	83,8	85,6	84,4	81,1	69,5	73,7	71,8	73,0
Diferença	-0,7	1,4	1,3	9,1	0,9	1,4	0,7	-0,3	7,7	-0,1	-1,1	0,9

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Na Tabela 2.11 a partir do ano 1996 até 2009 todos os valores da umidade relativa ficaram abaixo da média. Já as temperaturas média compensada, mínima e máxima apresentaram valores acima da média histórica. A precipitação apresentou durante 11 anos da série em estudo, valores abaixo da média histórica.

Tabela 2.11 - Médias anuais das variáveis meteorológicas da
Cidade do Recife (1990 – 2009)

Ano	TCMM	TMáxMM	TMinMM	PMM	UR
1990	25,7	29,5	21,6	206,5	79
1991	25,6	29,2	21,9	180,3	78
1992	25,5	28,9	22,2	207,6	78
1993	25,9	29,3	22,3	110,5	80
1994	25,9	29,4	22,4	224,0	80
1995	25,9	29,5	21,9	159,8	80
1996	26,0	29,3	22,7	153,4	78
1997	25,9	29,4	22,2	145,0	77
1998	26,6	30,1	22,7	104,1	75
1999	25,8	29,5	22,3	115,1	75
2000	26,1	29,0	22,3	279,9	79
2001	26,0	29,3	22,5	139,3	78
2002	26,2	29,1	22,5	173,5	78
2003	25,9	29,6	22,3	180,8	78
2004	25,7	29,6	22,2	211,0	79
2005	26,2	29,8	22,4	193,0	77
2006	26,2	30,0	22,5	156,4	76
2007	25,8	29,5	22,5	134,7	78
2008	25,9	29,5	22,3	203,2	77
2009	26,1	29,8	22,7	214,4	78

Estimativa de Erros para os Modelos

A Tabela 7 apresenta os erros estimados para os modelos de previsão propostos neste trabalho. Entre os modelos de previsão aquele que mais se aproximou dos dados experimentais foi o obtido pela técnica estatística de média móvel exponencial. Com exceção do fenômeno da precipitação média mensal (PMM), as demais variáveis meteorológicas da cidade do Recife podem ser previstas com estimativas de erros percentuais médios conforme a referida tabela, a qual pode ser atualizada anualmente.

Tabela 2.12 – Erro percentual médio absoluto dos modelos propostos

Modelo da Análise	Parâmetro Meteorológico				
	TMCM	TMáxMM	TMínMM	PMM	UR
Regressão Linear	3,9	3,7	4,3	68,2	5,6
Média Móvel Linear	3,9	3,6	3,5	66,0	5,5
Média Móvel Exponencial	3,6	3,4	3,3	63,5	5,2

Previsão para o Recife em 2010

No modelo aditivo utilizado para detectar a influência da sazonalidade na previsão dos parâmetros meteorológicos para a Cidade do Recife, existe influência desse sazonalidade caso os referidos índices sejam substancialmente diferentes de zero, o que parece serem os casos da maioria dos parâmetros abordados nesse trabalho. Dessa forma, com base nesses referidos índices, uma aplicação voltada para o objetivo desse trabalho seria a elaboração de uma tabela com previsões de parâmetros meteorológicos para a cidade do Recife em 2010, conforme a Tabela 2.13.

Tabela 2.13 – Previsões meteorológicas para a Cidade do Recife em 2010

Mês	Parâmetro Meteorológico				
	TMCM (°C)	TMáxMM (°C)	TMínMM (°C)	PMM (mm/ano)	UR (%)
Janeiro	27,13	27,79	23,41	81,02	72,11
Fevereiro	27,37	27,92	23,29	142,73	73,05
Março	27,38	28,78	22,98	198,97	75,30
Abril	26,69	29,78	22,58	272,50	79,59
Maio	25,93	30,48	21,88	351,87	83,85
Junho	24,79	30,77	21,22	456,11	86,14
Julho	24,12	30,92	21,96	381,44	85,79
Agosto	24,98	30,82	21,60	282,12	83,66
Setembro	24,88	30,66	22,33	150,23	79,10
Outubro	25,81	30,16	22,89	81,94	75,32
Novembro	26,55	29,53	23,11	51,57	72,60
Dezembro	27,08	28,41	23,37	49,61	71,93

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Tabela 2.14 - Valores de parâmetros meteorológicos simulados (MME) e medidos (INMET) para o Recife em 2010

Mês	Parâmetros Meteorológicos				
	TMCM(°C) MAPE 1,77%	TMáxM(°C) MAPE 7,00%	TMínM(°C) MAPE 2,78%	PPM(mm/ano) MAPE 57,40%	URM% MAPE 3,12%
Janeiro	27,1- 26,6	27,7 - 30,1	23,4 - 23,3	81,0 - 193,4	72,1- 79,0
Fevereiro	27,3 - 27,8	27,9 - 31,3	23,2 - 24,3	142,7- 45,2	73,0- 76,0
Março	27,3 - 27,9	28,7 - 32,3	22,9 - 23,4	198,97 - 2,20	75,3 - 75,0
Abril	26,6 - 27,0	29,7- 31,0	22,5 - 23,4	272,50 - 273,3	79,5 - 82,0
Maio	25,9 - 26,3	30,4 - 30,3	21,8 - 22,7	351,8 - 114,3	83,8 - 83,0
Junho	24,7 - 25,3	30,7 - 29,1	21,2 - 22,6	456,1 - 543,9	86,1 - 85,0
Julho	24,1 - 24,5	30,9 - 28,2	21,9 - 21,5	381,4 - 259,4	85,7 - 84,0
Agosto	24,9 - 23,7	30,8 - 27,5	21,6 - 20,6	282,1 - 191,2	83,6 - 83,0
Setembro	24,8 - 25,0	30,6- 28,2	22,3 - 21,6	150,2 - 74,3	79,1 - 76,0
Outubro	25,8 - 26,3	30,1 - 30,0	22,8 - 22,8	81,4 - 37,4	75,3 - 73,0
Novembro	26,5- 27,1	29,5- 30,7	23,1 - 23,0	51,57 - 23,5	72,6 - 68,0
Dezembro	27,0 - 27,1	28,4 - 31,0	23,3 - 22,9	49,61 - 84,8	71,9 - 70,0

3.3 CONCLUSÃO

A temperatura média compensada, temperatura máxima, temperatura mínima e a precipitação, para a Cidade do Recife, foram analisadas neste trabalho. Apresentaram tendências positivas caracterizando uma discreta alteração climática, mais evidente na segunda década do período de 1990 a 2009. Os valores de temperatura máxima, registrados entre os anos de 2003 a 2009, nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro variaram entre 30°C e 31,9°C. Tais valores foram considerados acima da média climatológica. Contudo, é importante ressaltar que os valores de temperatura considerados anômalos ocorreram em dias isolados, não tendo sido registrados valores que se estendessem continuamente ao longo de um ou mais meses.

A temperatura média compensada mensal (TMCM) também apresentou anomalias através dos índices sazonais obtidos para o mês de agosto (-1,77°C) – abaixo da média, e para o mês de fevereiro com valor de (1,30°C) - acima da média.

A precipitação acumulada foi muito maior na segunda década, mas apesar disso, ficou bem abaixo dos registros observados entre os anos 1960 a 1990. É provável que o maior volume registrado na segunda década caracterize uma anomalia de precipitação para a cidade do Recife. Contudo, durante os 19 anos do período escolhido para a presente pesquisa, o evento climático El Niño ocorreu 9 vezes fazendo com que boa parte da comunidade científica atribuísse a esse fenômeno a provável responsabilidade das anomalias climáticas observadas nas últimas décadas.

A diferença observada nos valores da precipitação indicam que o modelo da média móvel exponencial não é válido para o estudo deste parâmetro.

Em virtude da cidade do Recife ser de localização litorânea, a umidade relativa do ar flutuou próximo dos 80%, mas não foram encontradas alterações importantes ao longo desta pesquisa.

Uma vez que as precipitações na Cidade do Recife apresentaram claramente certa aleatoriedade, fica como sugestão para um próximo trabalho a modelagem

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

desse parâmetro climático por métodos matemáticos mais recentes (Redes Neurais, por Exemplo), inclusive o desenvolvimento de modelos fenomenológicos.

4.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. B.; SOUZA, R. O.; CAMPOS, J. N. B. Previsão da anomalia de temperatura da superfície do mar (tsm) no atlântico tropical, com a equação da difusão de temperatura. **Revista Climanalise**, ano 03, n. 01, 2005.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria General de los Sistemas**, 10^a ed., México: FCE, 1995.

BLOCH, S. C. **EXCEL para Engenheiros e Cientistas**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

BOX, G E P. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 3. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994. 598p.

BELTRÃO, N E M; ARAÚJO, A E; BENASSI, A C; Zoneamento e época de plantio para o algodoeiro no norte do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.99-105, 2003.

BEZERRA, A. C.; CAVALCANTI, E. P. Energia estática sobre o Nordeste do Brasil relacionada com a temperatura da superfície do mar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 2, p. 239-263, 2008.

BROCKWELL, P.; DAVIS, R. **Time Series: Theory and Methods**, 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1991.

COSTA, E V. Medidas da Umidade relativa do Ar em um ambiente fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, no. 3, Setembro, 2003.

DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R G. Modelos para prognósticos da umidade relativa do ar em escala horária no município de Muriaé, MG. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHi, p. 295-300.

DIGGLE P. J. **Time series**: a biostatistical introduction. Oxford: Oxford University Press, 1992.

FILHO, R. A. P., SILVA, J. C. C., Gomes, S. B. Sistemas Integrados de Tratamento e usos de Águas Residuárias na América Latina: Realidade e Potencial. 54 p, Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente. Fortaleza. 2002.

HASTENRATH, S. Interannual Variability and Annual Cycle: Mechanisms of Circulation and Climate in the Tropical Atlantic Sector. **Mon. Wea. Rev.**, 112, 1097–1107. 1984.

KOUSKY, V.E., CAVALCANTI, I.F.A., GAN, M.A., 1983. Contrasts between wet and dry periods within the 1981 rainy season in Northeast Brazil. INPE - 2728 - PRE/310.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo, São Paulo-SP: Editora Hucitec, 1985. 244p.

McCULLOUGH, B.D.; HEISER, D. A. On the accuracy of statistical procedures in Microsoft Excel 2007, **Computational Statistics and Data Analysis**, 52, 4570–4578. 2008.

MOREIRA, C. M. **Estratégias de simulação em supermercados**: avaliação por meio de simulação. 2001. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MORETTIN, P. A., TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 535p.

MOURA, B A G; ARAGÃO, J O R; LACERDA, F F; PASSAVANTE, J Z O. Relação entre a Precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil e a temperatura de superfície nos Oceanos Atlântico (área do dipolo) e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.247 – 251. 2000.

MUNN, R.E. **Descriptive Micrometeorology**. Advances in Geophysics. New York: Academic Press, 1996, v. I. 199p.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

NOVAES, S. M. L. O; GONÇALVES, A. A.; SIMONETTI, V. M. M. Gestão das farmácias hospitalares através da padronização de medicamentos e utilização da curva ABC. In: **ENCONTRO SIMPEP**, 13., 2006, Bauru. Resumo dos trabalhos. São Paulo: SIMPEP, 2006.

PORTELLA, A. Padronização e custos: uma questão de logística hospitalar. [2001]. Disponível em: <http://www.guiadelogistica.com.br> . Acesso em: 20 de março de 2006.

SILVA, F D S; CORREIA, M F; ARAGÃO, M R S; SILVA, J M. Convecção linearmente organizada na área de Petrolina, semi-árido do Nordeste do Brasil: aspectos em meso e grande escala. **Ver. Brás. Meteorol.** Vol.23, nº3. São Paulo. 2008.

TSONIS, E. S.; Elsner, T. K. Chaos, strange attractors and weather. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 70, pg 14-23, 1999.

UVO, C. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. **J. Climate**, 11, 551–562. 1998.

APÊNDICE 1

Roteiro para Cálculos e Análise de Séries Temporais com EXCEL 2007

Uma análise das mudanças de precipitação seria incompleta sem a consideração de mudanças na ocorrência de precipitação diária (NEW, 2006). Durante o século, o número médio de dias por ano com precipitação aumentou, em uma tendência que imita o aumento da precipitação anual que começou por volta de 1970. Desde 1970, houve cerca de 2% mais dias por ano, com precipitação que no início do século. Isso equivale a um aumento médio de dias de precipitação de cerca de 6 a mais por ano, mas varia dependendo da região do país a ser examinado (ALEXANDER, 2006).

Gráfico de linhas da série

A primeira etapa para a análise de uma série temporal é dispô-la em uma planilha de forma que facilite a obtenção de um gráfico de linha (Figura 3.1). Num gráfico de linhas no eixo horizontal são colocados os períodos da série e, no eixo vertical, os valores da série. Os pontos são ligados por linhas para facilitar uma visualização do comportamento.

Observa-se que na planilha mostrada na Figura 3.1 há três colunas, uma referente aos meses janeiro, fevereiro... (Coluna A), uma referente ao período que cada mês representa na série, ou seja, janeiro de 1990 é o período 1 (Coluna B) e, na terceira coluna, são dispostos os valores da série propriamente dita, neste caso, TMCM – temperatura média compensada mensal (Coluna C).

Para construir um gráfico de linhas basta marcar os dados da série (TMCM) e acionar o Assistente de Gráfico do Excel em **Inserir** e escolher na barra de menu o tipo de gráfico "Linha", conforme mostrado na Figura 3.2.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Pode-se escolher qualquer dos subtipos de gráfico disponíveis, com exceção do que apresenta a série em 3 dimensões. A explicação para esta exclusão é que a apresentação em 3D, embora mais atrativa visualmente, pode levar a não se identificar aspectos relevantes, e a se "enxergar" padrões que não existem.



	A	B	C
1	Mês/Ano	Período	TCM
2	jan/90	1	26,4
3	fev/90	2	26,4
4	mar/90	3	27,2
5	abr/90	4	26,6
6	mai/90	5	25,3
7	jun/90	6	24,7
8	jul/90	7	24,2
9	ago/90	8	24
10	set/90	9	24,8
11	out/90	10	25,7
12	nov/90	11	26,6

Figura 3.1 – Disposição dos dados na planilha Excel



Figura 3.2 – Barra de menu com opção para gráfico de linhas

Com o lado esquerdo do mouse pode-se adicionar à sequência de dados de interesse o gráfico de linha conforme mostrado pela Figura 3.3. Geralmente a formatação gráfica pode não estar a contento, de forma que se pode reformatar a cor e a espessura da

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

linha que une os pontos do gráfico, clicando sobre os pontos e escolhendo a opção “Formatar pontos de dados”. Para inserir os títulos de eixos dos gráficos deve-se ir para “Layout” na barra de menu. Uma continuação adequada de procedimentos sugere que se transfira o gráfico para uma planilha isolada, onde se pode distinguir melhor os componentes que compõem a série de interesse, tais como tendências e outros parâmetros importantes para a análise da série. Clica-se com o botão do lado direito do mouse e escolhe-se a opção de “Mover gráfico”. A Figura 3.4 ilustra o gráfico de linha isolado em uma planilha.

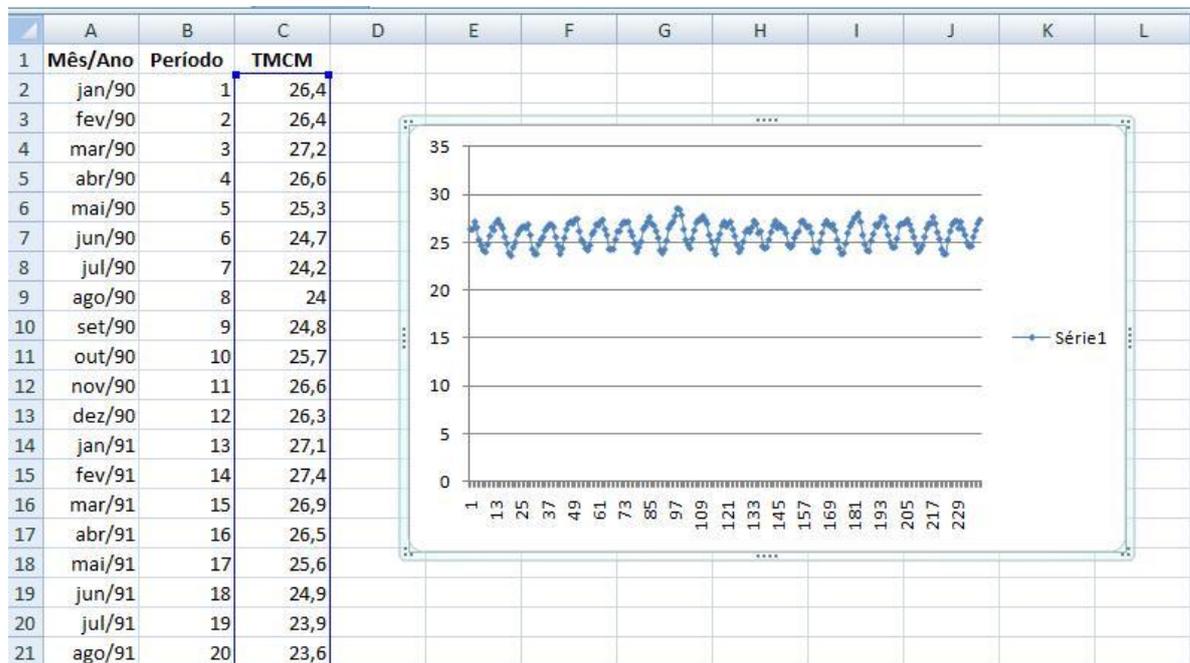


Figura 3.3 – Gráfico de linha da série obtido preliminarmente

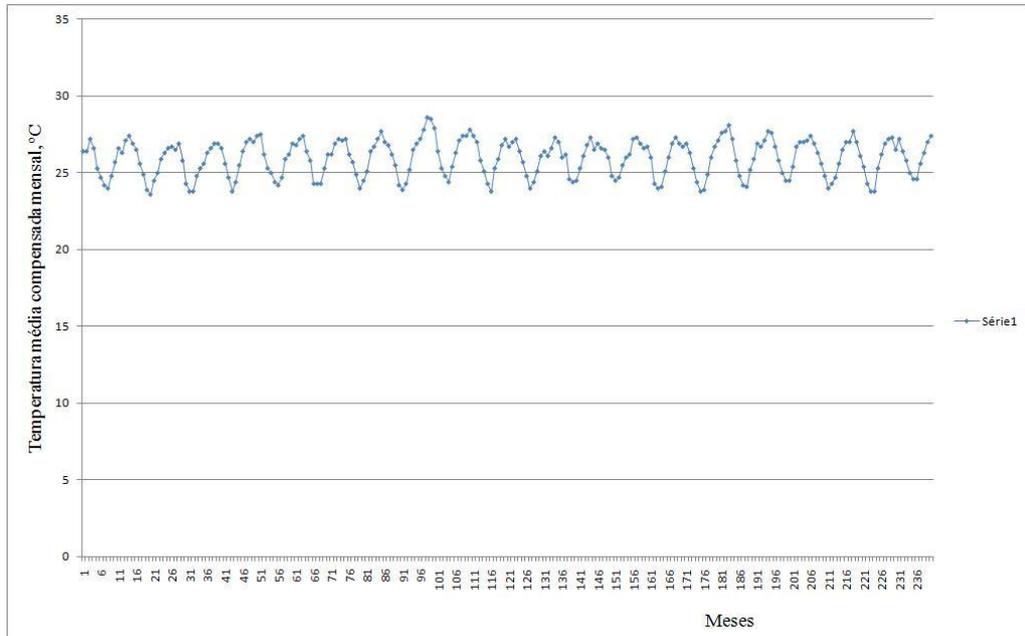


Figura 3.4 – Gráfico de linha da série isolado em uma planilha

Obtenção de tendência para a série

Para identificar a tendência numa série pode-se adicionar uma linha de tendência, por exemplo, linear, ao gráfico de linhas da série temporal. Basta selecionar os pontos do gráfico, posicionando o cursor sobre eles e pressionando o botão esquerdo do mouse: os pontos mudarão de cor. Em seguida, pressionando o botão direito do mouse surgirão várias opções, entre elas "Adicionar linha de tendência". A Figura 3.5 ilustra a janela com as opções disponíveis.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

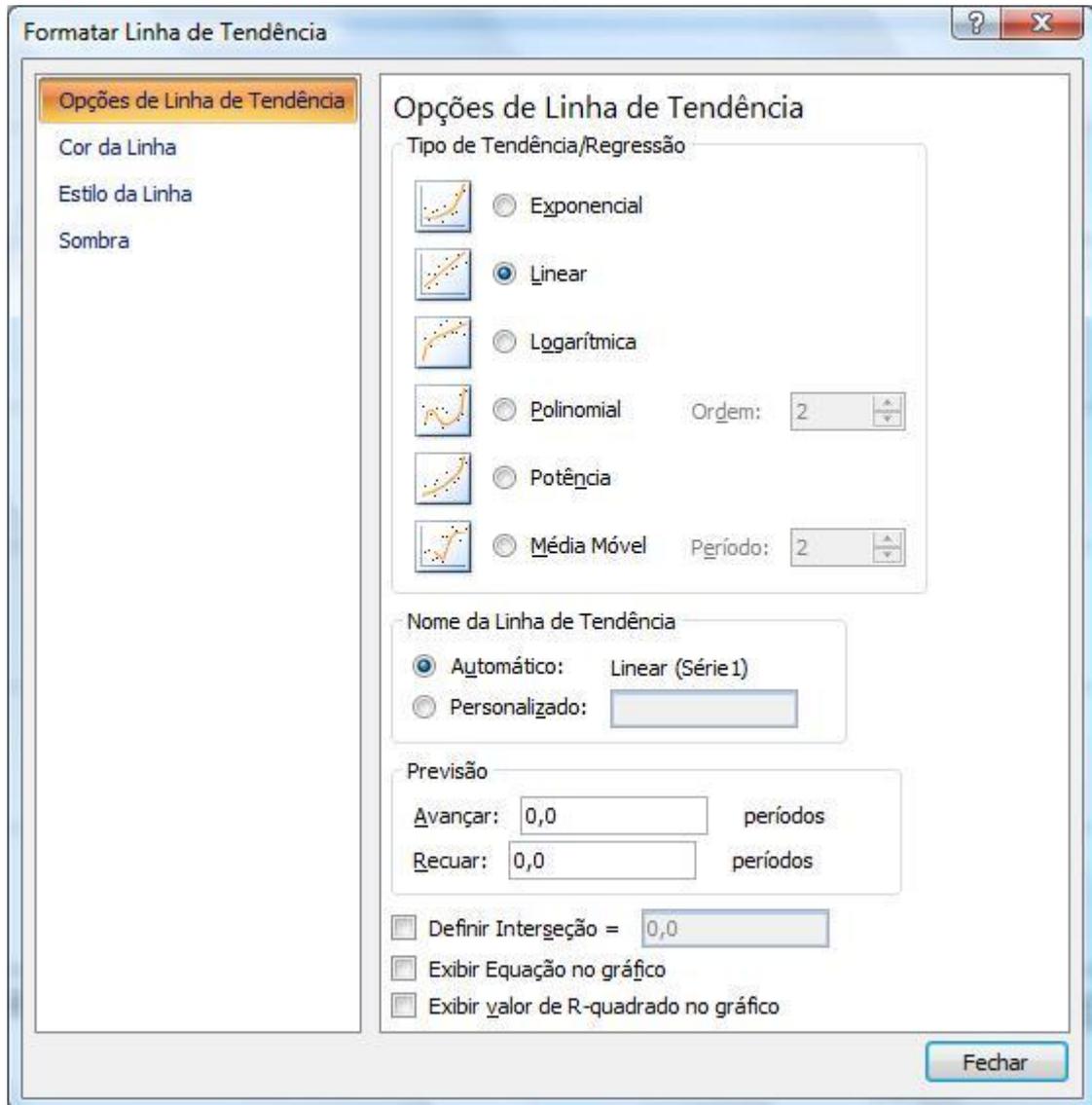


Figura 3.5 – Opções disponíveis no Excel para identificação de tendência de uma série temporal

Com a aplicação do procedimento comentado anteriormente obtém-se a linha de tendência sobreposta ao gráfico de série conforme Figura 3.6. Observa-se então no referido gráfico que a linha de tendência obtida tem inclinação positiva, demonstrando que o valor de temperatura média compensada tem aumentado.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

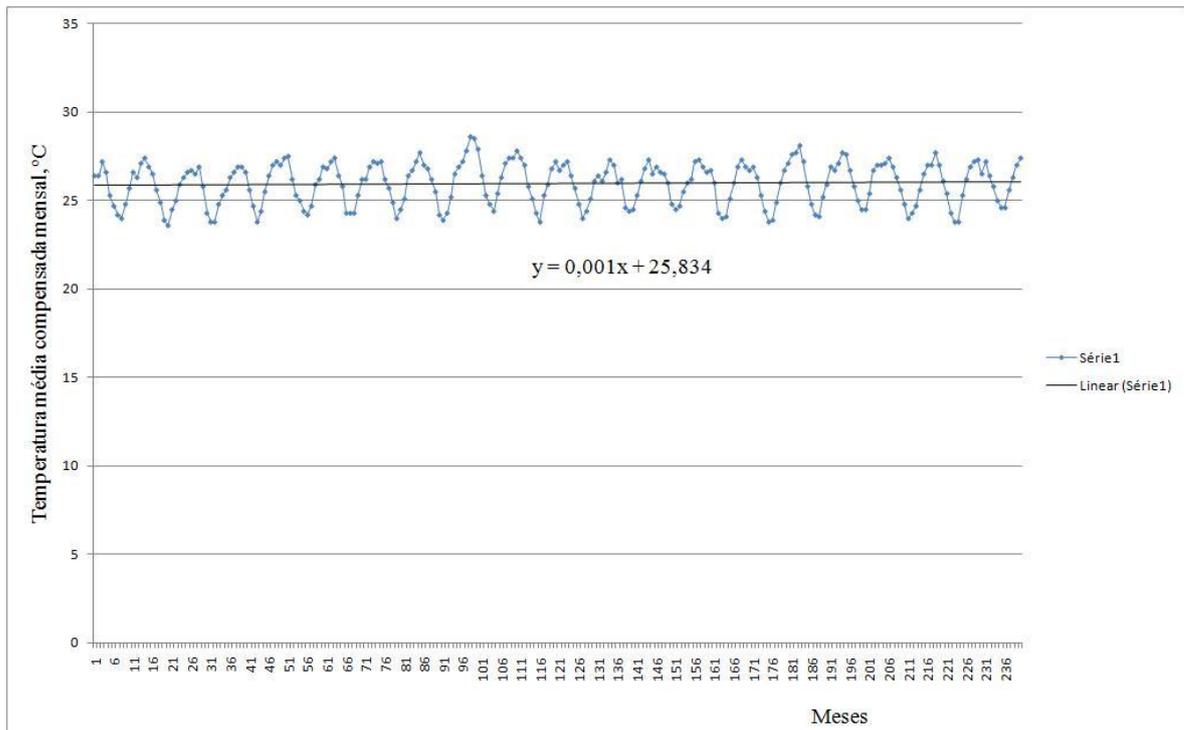


Figura 3.6 – Gráfico de linha da série com tendência linear

Pode-se calcular os valores numéricos de tendência, utilizando a equação mostrada no gráfico, para que seja possível obter as outros componentes da série. Para obter a componente tendência para cada período da série insere-se a fórmula com a equação da reta obtida pelo Excel e com o mouse marcando a célula inicial faz-se o preenchimento das demais células (Figura 3.7).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

	A	B	C	D	E	F
1	Mês/Ano	Período	TCCM	T Linear		
2	jan/90	1	26,4	25,835		
3	fev/90	2	26,4	25,836		
4	mar/90	3	27,2	25,837		
5	abr/90	4	26,6	25,838		
6	mai/90	5	25,3	25,839		
7	jun/90	6	24,7	25,84		
8	jul/90	7	24,2	25,841		
9	ago/90	8	24	25,842		
10	set/90	9	24,8	25,843		
11	out/90	10	25,7	25,844		
12	nov/90	11	26,6	25,845		

Figura 3.7 – Obtenção de dados numéricos de tendência linear da série

Ao se optar por uma média móvel para se caracterizar a tendência de uma série, caminha-se na direção de um aspecto crítico que é definir a sua ordem, ou quantos períodos serão englobados por vez, e obter valores numéricos para a respectiva tendência da série. Ao lidar com dados anuais pode-se escolher um número **ímpar** de períodos, o que facilita o processo por eliminar a necessidade de centrar as médias (MORETTIN, 2004). Quanto maior o número de períodos, mais “ajustada” será a tendência resultante por uma média móvel, possibilitando observar com precisão o comportamento de longo prazo da série.

No caso em questão, os dados são registrados mensalmente e isto obriga a calcular médias móveis de 12 períodos, uma vez que há 12 meses num ano, para que seja removido o efeito das variações sazonais. Como o número de períodos é par, é preciso centrar as médias.

O seguinte roteiro deve ser seguido:

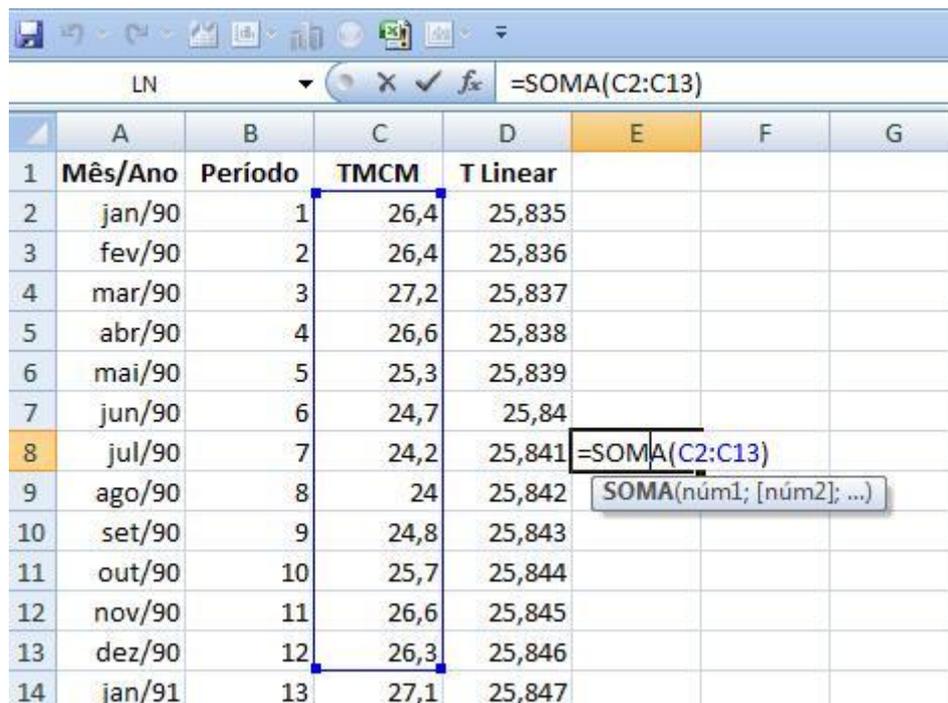
- calculam-se os totais móveis de cada 12 períodos e na célula E8 digita-se a fórmula: =soma(C2:C13), para que este total móvel fique no centro dos 12 períodos (Figura 3.8);

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

- arrasta-se a célula de E8 a E236 correspondentes ao total dos últimos 12 meses, de C230 a C241 (Figura 3.9);

- centrar os totais móveis de 12 períodos, agrupando-os dois a dois e colocando o resultado no período que está no centro deles, juntando os totais que estão nos meses "6,5" (entre junho e julho) e "7,5", uma vez que os totais móveis de 12 períodos não têm correspondentes na série original, assim as médias móveis de 12 períodos calculadas com eles não ajudarão a obter a tendência da série;

- Na célula F8 coloca-se a fórmula: =soma(E8:E9), onde o total móvel de 2 períodos é centrado (Fig. 3.10), sendo registrado na mesma linha correspondente ao mês de julho de 1990, agora com significado real, bastando "arrastar" a fórmula até a célula E175 (Figura 3.11).



	A	B	C	D	E	F	G
1	Mês/Ano	Período	TCM	T Linear			
2	jan/90	1	26,4	25,835			
3	fev/90	2	26,4	25,836			
4	mar/90	3	27,2	25,837			
5	abr/90	4	26,6	25,838			
6	mai/90	5	25,3	25,839			
7	jun/90	6	24,7	25,84			
8	jul/90	7	24,2	25,841	=SOMA(C2:C13)		
9	ago/90	8	24	25,842			
10	set/90	9	24,8	25,843			
11	out/90	10	25,7	25,844			
12	nov/90	11	26,6	25,845			
13	dez/90	12	26,3	25,846			
14	jan/91	13	27,1	25,847			

Figura 3.8 – Determinação do total de cada 12 períodos

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

	A	B	C	D	E	F	G
230	jan/09	229	27,3	26,063	311,4		
231	fev/09	230	26,5	26,064	312,2		
232	mar/09	231	27,2	26,065	313		
233	abr/09	232	26,4	26,066	313,3		
234	mai/09	233	25,8	26,067	313,4		
235	jun/09	234	25	26,068	313,5		
236	jul/09	235	24,6	26,069	=SOMA(C230:C241)		
237	ago/09	236	24,6	26,07			
238	set/09	237	25,6	26,071			
239	out/09	238	26,3	26,072			
240	nov/09	239	27	26,073			
241	dez/09	240	27,4	26,074			

Figura 3.9 -

	A	B	C	D	E	F	G
1	Mês/Ano	Período	TCCM	T Linear			
2	jan/90	1	26,4	25,835			
3	fev/90	2	26,4	25,836			
4	mar/90	3	27,2	25,837			
5	abr/90	4	26,6	25,838			
6	mai/90	5	25,3	25,839			
7	jun/90	6	24,7	25,84			
8	jul/90	7	24,2	25,841	308,2	=soma(E8:E9)	
9	ago/90	8	24	25,842	308,9		
10	set/90	9	24,8	25,843	309,9		
11	out/90	10	25,7	25,844	309,6		

Figura 3.10 -

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

	A	B	C	D	E	F	G
229	dez/08	228	27,2	26,062	310,7	622,1	
230	jan/09	229	27,3	26,063	311,4	623,6	
231	fev/09	230	26,5	26,064	312,2	625,2	
232	mar/09	231	27,2	26,065	313	626,3	
233	abr/09	232	26,4	26,066	313,3	626,7	
234	mai/09	233	25,8	26,067	313,4	626,9	
235	jun/09	234	25	26,068	313,5	627,2	
236	jul/09	235	24,6	26,069	313,7		

Figura 3.11 -

- Prossegue-se somente até a célula E235 porque nela será colocada a soma dos dois últimos totais móveis de 12 períodos, referentes às células E235 e E236, com o resultado colocado na linha correspondente ao mês de junho de 2009 (Figura 3.11);

- com os totais móveis de 2 períodos, centrados, pode-se finalmente calcular as médias móveis correspondentes, dividindo os totais móveis por 24, uma vez que agrupou-se dois conjuntos de 12 períodos, resultando em 24 períodos (se fosse uma série trimestral dividiríamos por 8);

- na célula G8 digita-se a fórmula: = F8/24 e basta "arrastar" a fórmula até a linha correspondente ao último total móvel de 2 períodos centrado (Figuras 3.12 e 3.13);

	A	B	C	D	E	F	G
1	Mês/Ano	Período	TMCM	T Linear			
2	jan/90	1	26,4	25,835			
3	fev/90	2	26,4	25,836			
4	mar/90	3	27,2	25,837			
5	abr/90	4	26,6	25,838			
6	mai/90	5	25,3	25,839			
7	jun/90	6	24,7	25,84			
8	jul/90	7	24,2	25,841	308,2	617,1	25,7125
9	ago/90	8	24	25,842	308,9	618,8	

Figura 3.12 -

	A	B	C	D	E	F	G	H
230	jan/09	229	27,3	26,063	311,4	623,6	25,98333	
231	fev/09	230	26,5	26,064	312,2	625,2	26,05	
232	mar/09	231	27,2	26,065	313	626,3	26,09583	
233	abr/09	232	26,4	26,066	313,3	626,7	26,1125	
234	mai/09	233	25,8	26,067	313,4	626,9	26,12083	
235	jun/09	234	25	26,068	313,5	627,2	26,13333	
236	jul/09	235	24,6	26,069	313,7			

Figura 3.13 -

- com todas as médias móveis de 2 períodos centradas calculadas pode-se adicioná-las ao gráfico da série original, para observar o comportamento da tendência (Figura 3.14).

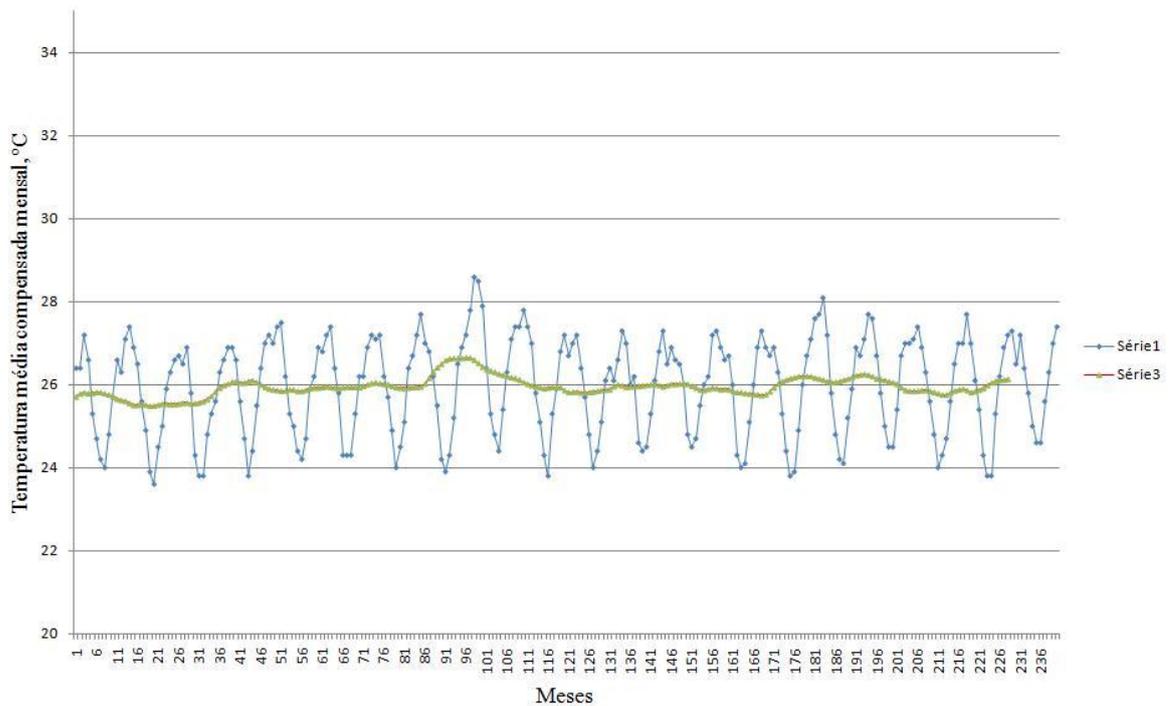


Figura 3.14 – Gráfico com tendência obtida por média móvel simples

Observa-se que após centrar os totais móveis "sobraram" seis períodos em branco no início da série (de janeiro a junho de 1990), e seis no final (de julho a dezembro de 2009): exatamente metade do número de meses do ano. Caso os dados fossem trimestrais (há 4 trimestres no ano), haveria dois períodos em branco no início e dois no final da série.

Observa-se ainda que na Figura 3.14 ao longo de toda a série pode-se perceber, através das médias móveis, que as temperaturas oscilam 23 e 23 °C, fluando em torno de 26 °C, que parece ser o comportamento de longo prazo (o nível da série), tal como havíamos concluído ao analisar a tendência linear. Além disso, podemos observar outro comportamento muito interessante através das médias móveis:

- observam-se os “altos e baixos” das médias móveis, em relação ao nível de 26 °C;
- aproximadamente até o período 36 os valores estão abaixo de 26 °C;
- começam então a crescer e vai até o período 111, quando oscila daí por diante muito próximo de 26 °C e;
- em média existe um aumento na temperatura média compensada mensal.

Uma terceira forma de obter a tendência é através do ajuste por média móvel do tipo exponencial. Consiste em aplicar uma média móvel, exponencialmente ponderada, por uma constante de regularização W (BOX, 1994). Esta varia entre 0 e 1. Quanto mais próxima de 1, mais o ajuste exponencial acompanhará a série original, e quanto mais próxima de zero, mais o ajuste refletirá o comportamento de longo prazo. Como no presente caso deseja-se caracterizar a tendência da série, pode-se utilizar uma constante $W = 0,1$, e proceder o ajuste através da equação:

$$E_i = W \cdot Y_i + (1 - W) \cdot E_{i-1} \quad (3.1)$$

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Em que:

i - um período de tempo qualquer;

Y_i - valor da série original no período i ;

E_i - valor da série exponencialmente ajustada no período i ;

E_{i-1} - valor da série exponencialmente ajustada no período $i-1$ (período anterior);

W - constante de regularização ou coeficiente de ajuste ($0 < W < 1$);

Considera-se que o primeiro valor da série original será igual ao primeiro valor ajustado, isto significa que o ajuste realmente começa a partir do segundo período da série. Os procedimentos são mostrados nas Figuras 3.15 e 3.16.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Mês/Ano	Período	T MCM	T Linear			T M M L	T M M E	
2	jan/90	1	26,4	25,835				=C2	
3	fev/90	2	26,4	25,836					
4	mar/90	3	27,2	25,837					
5	abr/90	4	26,6	25,838					
6	mai/90	5	25,3	25,839					
7	jun/90	6	24,7	25,84					
8	jul/90	7	24,2	25,841	308,2	617,1	25,7125		
9	ago/90	8	24	25,842	308,9	618,8	25,78333		
10	set/90	9	24,8	25,843	309,9	619,5	25,8125		

Figura 3.15 – Princípios de tendência por média móvel exponencial

Pode-se agora arrastar a fórmula da célula H3 até à célula H240, completando o ajuste exponencial dos 180 períodos da série. De forma análoga ao caso das médias móveis, pode-se adicionar a seqüência do ajuste exponencial ao gráfico da série, para observar o comportamento da tendência: basta adicionar a

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

seqüência das células H2 a H181. O resultado, incluindo as médias móveis pode ser visto na Figura 3.17.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Mês/Ano	Período	TBCM	T Linear			T MML	T MME	
2	jan/90	1	26,4	25,835				26,4	
3	fev/90	2	26,4	25,836				=0,1*C3+(1-0,1)*H2	
4	mar/90	3	27,2	25,837					
5	abr/90	4	26,6	25,838					
6	mai/90	5	25,3	25,839					
7	jun/90	6	24,7	25,84					
8	jul/90	7	24,2	25,841	308,2	617,1	25,7125		
9	ago/90	8	24	25,842	308,9	618,8	25,78333		
10	set/90	9	24,8	25,843	309,9	619,5	25,8125		

Figura 3.16 – Expressão de cálculo de média móvel exponencial

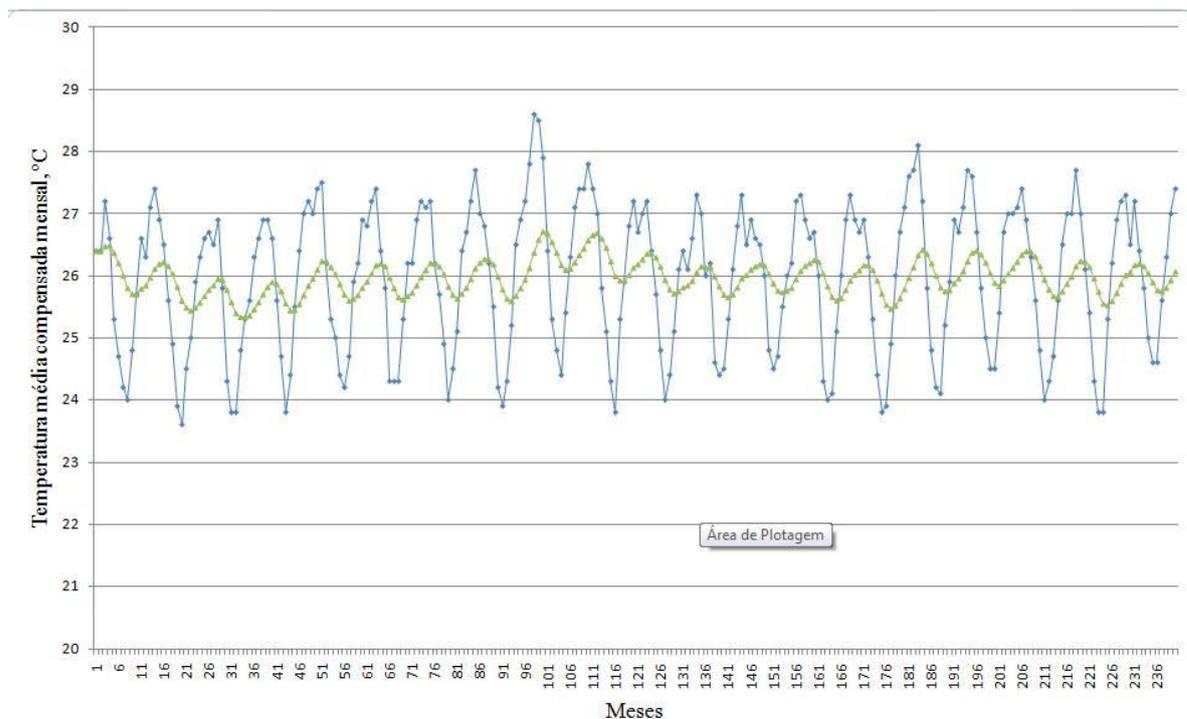


Figura 3.17 – gráfico com tendência obtida por média móvel do tipo exponencial.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

A componente tendência pode ser utilizada posteriormente para duas finalidades:

- removida para que se possam obter outras componentes da série temporal (supondo um modelo clássico);
- utilizada para fazer previsões para períodos futuros.

3.2.3 Índices de Sazonalidade

A sazonalidade em uma série temporal pode ser encarada como a componente que apresenta um padrão regularmente repetido em sub-períodos de um período de tempo considerado. Esse movimento que se repete em cada caso, é chamado de padrão sazonal, mesmo quando não há relacionamento entre o padrão considerado e certos períodos do ano.

Refere-se a padrões idênticos de uma série temporal, que parece obedecer durante os mesmos meses de anos sucessivos. Esses movimentos são resultantes de eventos periódicos que ocorrem anualmente. Embora os movimentos estacionais se refiram à periodicidade anual, as idéias podem incluir periodicidade relativa a qualquer intervalo de tempo, como diária, horária, semanal etc.

Somente pode haver influência da sazonalidade se a série foi registrada com periodicidade inferior a um ano: dias, semanas, meses, bimestres, trimestres, semestres. Posteriormente é preciso observar o número de períodos em que o ano é dividido: se o ano foi dividido em semanas haverá 52 índices sazonais, se dividido em meses haverá 12 índices sazonais, se em bimestres haverá 6 índices sazonais, se em trimestres haverá 4, e assim por diante. O número de índices é essencial, pois determinará a ordem das médias móveis que serão calculadas para obter os índices sazonais, supondo o uso do método da razão para a média móvel. Além disso, dependendo da escolha por um modelo aditivo ou multiplicativo os procedimentos serão diferentes.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

No caso da temperatura média compensada mensal a série foi registrada mensalmente e, portanto, precisa-se calcular 12 índices, e verificar se a influência da sazonalidade é significativa. Caso isso realmente ocorra, a componente sazonal deverá ser incluída no modelo da série que será usado para fazer previsões.

A primeira etapa é a de calcular as médias móveis de 12 períodos centradas e isso já foi feito. Portanto, basta obter os índices sazonais, de acordo com o modelo escolhido, para cada período da série, da seguinte forma:

- no modelo aditivo, índice = valor de vendas – média móvel de 12 períodos centrada;
- no modelo multiplicativo, índice = valor de vendas/média móvel de 12 períodos centrada.

No caso em questão, tais operações somente poderão ser feitas para os períodos da série que apresentam médias móveis calculadas, ou seja, serão excluídos os 6 primeiros e os 6 últimos.

Na célula I8 coloca-se o resultado da subtração TCM – TMM L, que é o índice sazonal aditivo para o mês de julho de 1990 (Figura 3.18). Pode-se arrastar a expressão até a célula I235, que corresponde ao mês de junho de 2009, último período para o qual a média móvel foi calculada (Figura 3.19).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Mês/Ano	Período	TMC	T Linear			TMM L	TMM E		
2	jan/90	1	26,4	25,835				26,4		
3	fev/90	2	26,4	25,836				26,4		
4	mar/90	3	27,2	25,837				26,48		
5	abr/90	4	26,6	25,838				26,492		
6	mai/90	5	25,3	25,839				26,3728		
7	jun/90	6	24,7	25,84				26,20552		
8	jul/90	7	24,2	25,841	308,2	617,1	25,7125	26,00497	=C8-D8	
9	ago/90	8	24	25,842	308,9	618,8	25,78333	25,80447		
10	set/90	9	24,8	25,843	309,9	619,5	25,8125	25,70402		
11	out/90	10	25,7	25,844	309,6	619,1	25,79583	25,70362		
12	nov/90	11	26,6	25,845	309,5	619,3	25,80417	25,79326		
13	dez/90	12	26,3	25,846	309,8	619,8	25,825	25,84393		

Figura 3.18 – Princípios de cálculo do índice sazonal aditivo

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

Percebe-se que em geral os índices sazonais calculados variam substancialmente, mesmo quando referentes ao mesmo mês do ano. Precisa-se então obter uma medida de síntese dos seus valores, para cada mês, para que se possa avaliar se há ou não efeito de sazonalidade na série. Apresenta-se a seguir os procedimentos para determinação dos índices de sazonalidade com dados onde foram aplicados o modelo aditivo e o multiplicativo.

227	out/08	226	26,2	26,06	310	620,3	25,84583	25,59213	0,14
228	nov/08	227	26,9	26,061	310,3	621	25,875	25,72292	0,839
229	dez/08	228	27,2	26,062	310,7	622,1	25,92083	25,87062	1,138
230	jan/09	229	27,3	26,063	311,4	623,6	25,98333	26,01356	1,237
231	fev/09	230	26,5	26,064	312,2	625,2	26,05	26,06221	0,436
232	mar/09	231	27,2	26,065	313	626,3	26,09583	26,17599	1,135
233	abr/09	232	26,4	26,066	313,3	626,7	26,1125	26,19839	0,334
234	mai/09	233	25,8	26,067	313,4	626,9	26,12083	26,15855	-0,267
235	jun/09	234	25	26,068	313,5	627,2	26,13333	26,04269	-1,068
236	jul/09	235	24,6	26,069	313,7			25,89842	
237	ago/09	236	24,6	26,07				25,76858	
238	set/09	237	25,6	26,071				25,75172	
239	out/09	238	26,3	26,072				25,80655	
240	nov/09	239	27	26,073				25,9259	
241	dez/09	240	27,4	26,074				26,07331	
242									

Figura 3.19 – complementação do cálculo do índice sazonal aditivo

No modelo **aditivo** é preciso inicialmente calcular as médias aritméticas simples dos índices de cada mês. Calculam-se então as médias progressivamente, selecionando os índices sazonais referentes aos meses de janeiro, fevereiro, março, etc. Há 19 índices para cada mês: a série tem 20 anos (240 meses), portanto 19 janeiros, 19 fevereiros, 19 marços, etc. Contudo, devido ao processo de obtenção das médias móveis de 2 períodos centradas, 12 meses foram descartados, resultando que sobraram 18 janeiros, 18 fevereiros, 18 marços, etc. Observe a Figura 3.20.

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

=MÉDIA(I14;I26;I38;I50;I62;I74;I86;I98;I110;I122;I134;I146;I158;I170;I182;I194;I206;I218;I230)									
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Linear			T M M L	T M M E			Aditivo	Médias Sazonais	
25,835				26,4			Janeiro	1,113421053	
25,836				26,4			Fevereiro		
25,837				26,48			março		
25,838				26,492			abril		
25,839				26,3728			maio		
25,84				26,20552			junho		
25,841	308,2	617,1	25,7125	26,00497	-1,641		julho		
25,842	308,9	618,8	25,78333	25,80447	-1,842		agosto		
25,843	309,9	619,5	25,8125	25,70402	-1,043		setembro		
25,844	309,6	619,1	25,79583	25,70362	-0,144		outubro		
25,845	309,5	619,3	25,80417	25,79326	0,755		novembro		
25,846	309,8	619,8	25,825	25,84393	0,454		dezembro		

Figura 3.20 – Princípios dos cálculos das médias móveis sazonais

Na célula L2 digita-se a fórmula:

=MÉDIA(I14;I26;I38;I50;I62;I74;I86;I98;I110;I122;I134;I146;I158...). Deve-se usar ponto e vírgula entre os valores porque se está escolhendo valores que estão distantes 12 células uns dos outros. O primeiro janeiro está na célula I14, o segundo na célula I26, o terceiro na I38, e assim por diante, até chegar ao último disponível, que está na célula I230, cuja linha corresponde a janeiro de 2009, o qual representa o último janeiro para o qual a média móvel de 2 períodos centrada foi calculada. Para calcular os índices sazonais dos outros meses basta "arrastar" a fórmula para baixo, mas apenas até o mês de junho, ou seja, até a célula L7 (Figura 3.21).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

=MÉDIA(I19;I31;I43;I55;I67;I79;I91;I103;I115;I127;I139;I151;I163;I175;I187;I199;I211;I223;I235)									
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
T Linear			T MML	T MME			Aditivo	Médias Sozonais	
25,835				26,4			Janeiro	1,113421053	
25,836				26,4			Fevereiro	1,301894737	
25,837				26,48			março	1,211421053	
25,838				26,492			abril	0,594631579	
25,839				26,3728			maio	-0,216894737	
25,84				26,20552			junho	-1,249473684	
25,841	308,2	617,1	25,7125	26,00497	-1,641		julho		
25,842	308,9	618,8	25,78333	25,80447	-1,842		agosto		
25,843	309,9	619,5	25,8125	25,70402	-1,043		setembro		
25,844	309,6	619,1	25,79583	25,70362	-0,144		outubro		
25,845	309,5	619,3	25,80417	25,79326	0,755		novembro		
25,846	309,8	619,8	25,825	25,84393	0,454		dezembro		

Figura 3.21 – Iniciando a obtenção de médias sazonais pelo modelo aditivo

Observa-se que a última célula da fórmula é I235, cuja linha corresponde ao mês de junho de 2009, o último mês para o qual há média móvel de 2 períodos centrada. Caso a fórmula for “arrastada” até a célula L13, para obter os índices sazonais até dezembro, comete-se dois erros:

- incluir-se-iam nos cálculos as células I236 em diante, que estão vazias, pois não há índices sazonais para as mesmas;
- deixar-se-ia de incluir as células I8 a I13, que contém índices sazonais, porque a primeira fórmula começou a partir da célula I14.

Assim, a fórmula que deverá ser colocado na célula L8 deverá ser (Figura 3.22):

=MÉDIA (I8;I20;I32;I44;I56;I68;I80;I92;I104;I116;I128;I140;I152;I164...). "Arrastando-se" a fórmula até a célula L13, obtêm-se as médias restantes (Figura 3.23).

A soma das médias dos índices sazonais vale -0,043159895, quando deveria valer zero: há um excesso que precisa ser removido. Já que se trata do modelo aditivo, divide-se o valor da soma por 12 (sazonalidade da série), obtendo-se -0,003596491. Este valor será subtraído das médias mostradas na Figura 3.23, resultando nos índices sazonais propriamente ditos (Figura 3.24).

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

f _x =MÉDIA(I8;I20;I32;I44;I56;I68;I80;I92;I104;I116;I127;I140;I152;I164;I176;I188;I200;I212;I224)									
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
T Linear			T M M L	T M M E			Aditivo	Médias Sazonais	
25,835				26,4			Janeiro	1,113421053	
25,836				26,4			Fevereiro	1,301894737	
25,837				26,48			março	1,211421053	
25,838				26,492			abril	0,594631579	
25,839				26,3728			maio	-0,216894737	
25,84				26,20552			junho	-1,249473684	
25,841	308,2	617,1	25,7125	26,00497	-1,641		julho	-1,77	
25,842	308,9	618,8	25,78333	25,80447	-1,842		agosto		
25,843	309,9	619,5	25,8125	25,70402	-1,043		setembro		
25,844	309,6	619,1	25,79583	25,70362	-0,144		outubro		
25,845	309,5	619,3	25,80417	25,79326	0,755		novembro		
25,846	309,8	619,8	25,825	25,84393	0,454		dezembro		
25,847	310	619,7	25,82083	25,96954	1,253				
25,848	309,7	619	25,79167	26,11259	1,552				

Figura 3.22 – Completando a obtenção de médias sazonais pelo modelo aditivo

f _x =MÉDIA(I8;I20;I32;I44;I56;I68;I80;I92;I104;I116;I127;I140;I152;I164;I176;I188;I200;I212;I224)									
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
T Linear			T M M L	T M M E			Aditivo	Médias Sazonais	
25,835				26,4			Janeiro	1,113421053	
25,836				26,4			Fevereiro	1,301894737	
25,837				26,48			março	1,211421053	
25,838				26,492			abril	0,594631579	
25,839				26,3728			maio	-0,216894737	
25,84				26,20552			junho	-1,249473684	
25,841	308,2	617,1	25,7125	26,00497	-1,641		julho	-1,77	
25,842	308,9	618,8	25,78333	25,80447	-1,842		agosto	-1,781526316	
25,843	309,9	619,5	25,8125	25,70402	-1,043		setembro	-0,877263158	
25,844	309,6	619,1	25,79583	25,70362	-0,144		outubro	0,005947368	
25,845	309,5	619,3	25,80417	25,79326	0,755		novembro	0,626	
25,846	309,8	619,8	25,825	25,84393	0,454		dezembro	0,998684211	

Figura 3.23 – Médias sazonais pelo modelo aditivo

Rocha, J V C. Modelagem de Dados Meteorológicos da Cidade do Recife Utilizando a Metodologia da Análise de Séries Temporais

No modelo aditivo há influência da sazonalidade se os índices sazonais forem substancialmente diferentes de zero, o que parece ser o caso (veja a Figura 3.24). Nos meses de janeiro a março há aumento nas temperaturas, que chega a 1,3 °C em fevereiro em relação à média mensal. A partir de abril inicia-se uma queda substancial, havendo um uma redução de quase 2 °C (1,77 °C) em agosto em relação à média mensal. Essas variações são grandes demais para se desprezar: Há, portanto, influência da componente sazonal na série, o que exige que o modelo de previsão desta série inclua tal componente, além da tendência.

f _x =SOMA(M2:M13)										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
T Linear			T M M L	T M M E			Aditivo	Médias Sazonais	Índices Sazonais	
25,835				26,4			Janeiro	1,113421053	1,117017544	
25,836				26,4			Fevereiro	1,301894737	1,305491228	
25,837				26,48			março	1,211421053	1,215017544	
25,838				26,492			abril	0,594631579	0,59822807	
25,839				26,3728			maio	-0,216894737	-0,213298246	
25,84				26,20552			junho	-1,249473684	-1,245877193	
25,841	308,2	617,1	25,7125	26,00497	-1,641		julho	-1,77	-1,766403509	
25,842	308,9	618,8	25,78333	25,80447	-1,842		agosto	-1,781526316	-1,777929825	
25,843	309,9	619,5	25,8125	25,70402	-1,043		setembro	-0,877263158	-0,873666667	
25,844	309,6	619,1	25,79583	25,70362	-0,144		outubro	0,005947368	0,00954386	
25,845	309,5	619,3	25,80417	25,79326	0,755		novembro	0,626	0,629596491	
25,846	309,8	619,8	25,825	25,84393	0,454		dezembro	0,998684211	1,002280702	
25,847	310	619,7	25,82083	25,96954	1,253		Soma	-0,043157895	0,00	
25,848	309,7	619	25,79167	26,11259	1,552		Excesso	-0,003596491		

Figura 3.24 – Índices sazonais pelo modelo aditivo

Como foi detectada a influência da componente sazonal na série, ao realizar previsões para um mês de setembro qualquer, o índice sazonal de agosto (1,777929825) deverá ser somado à tendência para esse mês, ao se usar um modelo aditivo para a série temporal.

