



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

Sandra Souza Lima

Modelagem Estatística para o Monitoramento
de Doenças de Notificação Compulsória

Orientador: Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*

Belém
2008

Sandra Souza Lima

Modelagem Estatística para o Monitoramento
de Doenças de Notificação Compulsória

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Matemática e Es-
tatística da Universidade Federal do Pará
como requisito parcial para a obtenção do
grau de Mestre em Estatística.

Orientador: Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*

Área de Concentração: Controle Estatístico de Qualidade, Séries Temporais

Belém

2008

Sandra Souza Lima

Modelagem Estatística para o Monitoramento
de Doenças de Notificação Compulsória

Esta Dissertação foi julgada e aprovada, para a obtenção do grau de Mestre em Estatística, no Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, da Universidade Federal do Pará.

Belém, 26 Junho de 2008.

Prof. Mauro de Lima Santos, *Dr.*

(Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística da UFPA)

Banca Examinadora

Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*

Universidade Federal do Pará

Orientador

Profa. Silvia dos Santos de Almeida, *Dra.*

Universidade Federal do Pará

Examinadora

Prof. Paulo Roberto Silva Farias, *Dr.*

Universidade Federal Rural da Amazônia

Examinador

Prof. Michel Ferreira da Silva, *Dr.*

Universidade Federal de Minas Gerais

Examinador

A meu marido e ao meu filho.

Agradecimentos

- A Deus pelo infinito amor que tem por mim;
- A meu marido pelo amor, compreensão e incentivo ao longo desta jornada;
- A meu filho pelo amor e compreensão com as minhas ausências;
- A meus pais e irmãos pelo apoio em todas as horas que precisei;
- Ao Prof. Edson Ramos meu orientador e amigo pela compreensão, paciência e incentivo;
- A todos os meus colegas do curso de mestrado por dividir seus saberes, principalmente ao Jairo, Gustavo, Raquel, Ulisses e Camil sempre dispostos a contribuir e dividir seus conhecimentos;
- A meus colegas e amigos do Hospital Universitário João de Barros Barreto pela torcida, apoio e incentivo no decorrer de todo o curso;
- A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Matemática e Estatística;
- Ao Hospital Universitário João de Barros Barreto pela dispensa durante o curso;
- À Universidade Federal do Pará.

“Confirma a tua promessa ao teu servo, que se inclina ao teu temor”.

Salmos 119:39

Resumo

LIMA, Sandra Souza. Modelagem Estatística para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória. 2008. Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística), PPGME, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

O melhor método estatístico para monitoramento de doenças infecciosas e transmissíveis é aquele que identifica com maior rapidez um aumento na incidência de doenças; quanto mais rápido o sistema sinalizar um comportamento anormal, mais rápido será a intervenção dos gestores de saúde, a partir de ações de prevenção e controle e, conseqüentemente, na diminuição da morbidade e mortalidade. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia estatística capaz de detectar rapidamente mudanças no comportamento da incidência de doenças de notificação compulsória. A combinação das técnicas de análise de séries temporais, análise de regressão e de controle estatístico de qualidade foi aplicada em séries que representam os diversos comportamentos da incidência de doenças, quanto às formas de distribuição existentes. Os métodos de decomposição e de suavização exponencial foram utilizados para modelar a tendência e sazonalidade característica deste tipo de série. Os gráficos de controle de regressão foram utilizados para monitorar a variação média da incidência de doenças e criar limites de controle para um monitoramento mais eficiente. Exemplos de aplicação da metodologia proposta foram realizados nas seguintes doenças: tuberculose, leptospirose e meningite bacteriana.

Palavras - chaves: séries temporais, gráficos de controle de regressão e monitoramento de doenças.

Abstract

LIMA, Sandra Souza. Modeling Statistics for Monitoring of Compulsory Notification Disease. 2008. Dissertation (Master em Statistics e Mathematics), PPGME, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

The best statistical method to monitor infectious and transmissible diseases is that one that identifies faster an increase in the incidence of diseases; the faster the system signal an abnormal behavior, the faster it will be the intervention of the managers of health, from actions of the prevention and control and, consequently, in the reducing morbidity and mortality. In this sense, the objective of this paper is to provide a statistical methodology that is capable to detect quickly changes in the behavior of the incidence of compulsory notification disease. The combination of technical time series analysis and statistical control of quality was applied in series that represent the various behaviors of the incidence of diseases, as the existing forms of distribution. The methods of decomposition and exponential smoothing were used to model the characteristics tendency and seasonality of this type of series. The regression control graphics and individual observations were used to monitor the average change in the incidence of diseases and to put limit of control to a more efficient monitoring. Examples of application of the methodology proposal had been carried through in the following illnesses: tuberculosis, leptospirosis and bacterial meningitis.

Key words: time series, regression control graphics and monitoring of diseases.

Índice

Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Figuras	xiv
1 Introdução	1
1.1 Aspectos Gerais	1
1.2 Justificativa e Importância	3
1.3 Hipótese Básica da Dissertação	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo Geral	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 As Limitações do Trabalho	5
1.6 Estrutura do Trabalho	5
2 Vigilância em Saúde Pública	7
2.1 Introdução	7
2.2 Transição Epidemiológica no Brasil	8
2.3 Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN)	9
2.3.1 Tuberculose	10
2.3.2 Leptospirose	11

2.3.3 Meningite Bacteriana	12
2.4 Algumas das Principais Pesquisas de Monitoramento na Vigilância em Saúde Pública	13
3 Metodologias de Modelagem Estatística	15
3.1 Gráficos de Controle	15
3.1.1 Visão Geral de Gráficos de Controle	16
3.1.2 Tipos de Gráficos de Controle	18
3.2 Gráficos de Controle para Observações Individuais	19
3.3 Gráficos de Controle para Observações Individuais com Linha Central Móvel	20
3.4 Gráficos de Controle de Regressão	21
3.4.1 Elementos do Gráfico de Controle de Regressão	21
3.5 Séries Temporais	24
3.5.1 Visão Geral de Séries Temporais	24
3.6 Método de Decomposição	27
3.6.1 Análise da Tendência	28
3.6.2 Análise da Sazonalidade	29
3.6.3 Sazonalidade Determinística - Método de Regressão	29
3.7 Modelos de Suavização Exponencial	30
3.7.1 Suavização Exponencial de Host (SEH)	30
3.7.2 Suavização Exponencial Sazonal de Holt - Winters (HW)	31
3.7.3 Medidas de Precisão dos Métodos de Previsão e Desempenho	33
4 Metodologia Proposta para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória	34
4.1 Introdução	34
4.2 Passos para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória	36
4.2.1 Análise Exploratória de Dados	36

4.2.2 Método 1 - Para Séries que Não Possuem Tendência e Nem Sazonalidade	36
4.2.3 Método 2 - Para Séries que Não Possuem Tendência e Possuem Sazonalidade	37
4.2.4 Método 3 - Para Séries que Possuem Tendência e Não Possuem Sazonalidade	37
5 Metodologias de Modelagem Estatística para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória	39
5.1 Introdução	39
5.2 Metodologia de Monitoramento de Doenças que Não Apresentam Tendência e Nem Sazonalidade	40
5.2.1 Análise Exploratória dos Dados da Série de Tuberculose	40
5.2.2 Gráfico de Controle para Observações Individuais Aplicado a Série de Tuberculose	43
5.3 Metodologia de Monitoramento de Doenças que Não Apresentam Tendência e Apresentam Sazonalidade	46
5.3.1 Análise Exploratória de Dados de Leptospirose	46
5.3.2 Gráfico de Controle com Linha Central Móvel Aplicado a Série de Leptospirose	50
5.4 Metodologia de Monitoramento de Doenças que Apresentam Tendência e Não Apresentam Sazonalidade	52
5.4.1 Análise Exploratória dos Dados da Série de Meningite Bacteriana	52
5.4.2 Gráfico de Controle de Regressão Aplicado a Série Meningite Bacteriana	54
6 Considerações Finais e Recomendações	58
6.1 Considerações Finais	58
6.2 Recomendações	59

Anexos	61
Referências	67

Lista de Tabelas

5.1	Número de Casos Observados e Estimados, pelo Método de Decomposição e de Holt-Winters, das Notificações de Leptospirose em Belém/PA - Julho a Setembro - 2006.	50
-----	--	----

Lista de Figuras

2.1	Fluxograma de Notificações Compulsórias de Doenças no Sistema de Vigilância em Saúde.	10
3.1	Formato Geral de um Gráfico de Controle proposto por Shewhart em 1924.	17
4.1	Fluxo da Metodologia de Modelagem Estatística para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória.	35
5.1	Número de Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.	41
5.2	Gráfico de Probabilidades Normais e Estatísticas Resultantes do Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, Aplicado ao Número de Notificações por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.	41
5.3	Correlograma dos Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.	42
5.4	Análise Gráfica da Sazonalidade do Número de Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.	43
5.5	Gráfico de Controle de Amplitude Móvel para os Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.	44

5.6	Gráfico de Controle de Amplitude Móvel dos Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006 - sem a Observação Referente ao mês de Fevereiro/2004.	44
5.7	Gráfico de Controle de Observações Individuais para os Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.	45
5.8	Número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.	46
5.9	Gráfico Box-Plot do Número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.	47
5.10	Gráfico de Probabilidades Normais e Estatísticas Resultantes do Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, Aplicado ao número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.	47
5.11	Correlograma do Número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.	48
5.12	Análise Gráfica da Sazonalidade do Número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.	49
5.13	Gráfico de Controle para Observações Individuais com Linha Central Móvel das Notificações de Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.	51
5.14	Números de Casos Notificados de Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.	52
5.15	Gráfico Box-Plot do Número de Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.	53
5.16	Gráfico de Probabilidades Normais e Estatísticas Resultantes do Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, aplicado as Notificações por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.	53
5.17	Análise Gráfica da Sazonalidade dos Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.	54

5.18	Gráfico de Probabilidade Normal para os Resíduos dos Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.	55
5.19	Gráfico dos Resíduos versus Valores Estimados para os Resíduos dos Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.	55
5.20	Gráfico dos Resíduos versus Número de Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.	56
5.21	Gráfico de Controle de Regressão do Número de Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006. . .	57

Capítulo 1

Introdução

1.1 Aspectos Gerais

As Doenças de Notificação Compulsória (DNC's), de acordo com Ministério da Saúde, representam um conjunto de doenças de relevância sanitária para a saúde pública. Esta relação foi composta inicialmente por doenças estabelecidas pelo Regulamento Sanitário Internacional, doenças vinculadas ao Programa Nacional de Imunização e de doenças controláveis a partir de ações coordenadas por órgãos específicos do Ministério da Saúde, (Mendes *et al*, 2000). Hoje, após várias inclusões a lista contempla 41 doenças de diferentes naturezas: infecciosas e transmissíveis.

O Sistema Nacional de Vigilância Epidemiológica do Ministério da Saúde é o responsável pela coleta e processamento das informações das DNC's fornecendo dados para a análise do perfil da morbidade e contribuindo para a tomada de decisões nos níveis municipal, estadual e federal.

O perfil epidemiológico das doenças, no Brasil, passa por um período de transição epidemiológico. Esta transição, característica de países em desenvolvimento, se configura com o aumento da morbidade de doenças crônicas degenerativas e a diminuição da morbidade das doenças infecciosas e transmissíveis (Lessa, 2004).

Apesar dos avanços tecnológicos obtidos pela área da saúde nas últimas décadas, em função de diversos fatores como: ampliação do acesso aos serviços de saúde, melhorias sanitárias, desenvolvimento de novas tecnologias (vacinas e

antibióticos), e medidas de controle, ocasionando uma redução significativa na taxa de mortalidade, a incidência das doenças infecciosas e transmissíveis ainda tem um impacto importante na saúde pública, principalmente para doenças que não dispõe de mecanismos eficazes de prevenção e/ou controle ou que apresentem uma associação com causas ambientais, sociais e econômicas (Luna, 2002; Pignatti, 2004; Schramm, 2004; Silva, 2003).

O Ministério da Saúde (MS) classifica o cenário epidemiológico das doenças infecciosas e transmissíveis no Brasil em três grupos: doenças com tendências descendentes, doenças com quadro de persistência e doenças emergentes e reemergentes (Brasil, 2004).

As doenças com tendência descendente são, na sua maioria, doenças transmissíveis para as quais se dispõe de instrumentos eficazes de prevenção e controle. As estratégias para esse grupo de doenças é a manutenção da situação de controle e a erradicação a partir da capacitação dos municípios e estados em detectar rapidamente os casos suspeitos e da adoção de medidas eficazes de bloqueio, dentre outras ações de vigilância epidemiológica. As doenças com quadro de persistência demandam o fortalecimento de ações multissetoriais para a prevenção e o controle desse grupo de doenças, já que grande parte das razões para a endemicidade reside em processos externos ao setor saúde: urbanização acelerada sem adequada infra-estrutura urbana, alterações do meio ambiente, desmatamento, ampliação de fronteiras agrícolas, processos migratórios e grandes obras de infra-estrutura (rodovias e hidroelétricas). As doenças emergentes e reemergentes, consideradas um fenômeno mundial, são doenças que foram introduzidas ou ressurgiram no país nas últimas duas décadas (Brasil, 2004).

O controle das doenças infecciosas e transmissíveis baseia-se em intervenções que são disparadas por meio de mecanismos de monitoramento. Estes mecanismos caracterizam-se por contabilizar o número de casos ocorridos de determinada doença. A rapidez de um sistema de monitoramento em detectar o crescimento na incidência de uma doença é fundamental para ativar ações

de investigação e controle por partes dos gestores de saúde (Sonesson; Bock, 2003; Vanbrackle; Williamson, 1999; Williamson; Hudson, 1999).

Ações de monitoramento e avaliação devem ser incorporadas as rotinas dos serviços para subsidiar as ações de planejamento e gestão na saúde pública. Para isso, é necessário o desenvolvimento e o fortalecimento da capacidade técnica, nos diversos níveis de saúde (Felisberto *et al*, 2004).

A preocupação com o aparecimento de “novas” doenças infecciosas, a reemergência de “velhas” doenças infecciosas, e o bioterrorismo têm acarretado a necessidade de melhorar e inovar a vigilância em saúde (Green; Kaufman, 2002). Neste contexto, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia estatística de monitoramento de doenças de notificação compulsória utilizando o Sistema de Informação de Agravos de Notificação.

1.2 Justificativa e Importância

A importância do tema proposto se justifica dado que a sensibilidade de um sistema de monitoramento de doenças é crucial na avaliação das medidas de prevenção e controle implantadas, na identificação de mudanças no padrão epidemiológico de uma população e na identificação de surtos e epidemias.

O melhor método estatístico para monitoramento de doenças infecciosas e transmissíveis é aquele que identifica com maior rapidez um aumento na incidência de doenças; quanto mais rápido o sistema sinalizar um comportamento anormal, mais rápida será a intervenção dos gestores de saúde, a partir de ações de prevenção e controle e, conseqüentemente, diminuição da morbidade e mortalidade.

No ano de 2007 até o mês de setembro o Ministério da Saúde divulgou a ocorrência de vários surtos no país: Sarampo no interior da Bahia, Rubéola em vários Estados, Doença de Chagas em Coari no Amazonas, e dois surtos de Meningite no Estado de Minas Gerais. Isto revela a necessidade de um monitoramento contínuo. A emergência e reemergência de doenças é mais um

motivo pela busca por métodos mais sensíveis na detecção de comportamentos anormais.

Finalmente, a divulgação da existência de surtos e epidemias em uma localidade gera apreensões na população; por isso, a importância da precisão do método utilizado na afirmação da ocorrência de um surto ou epidemia, evitando os alarmes falsos. Este trabalho foca exclusivamente o método de vigilância estatística prospectiva, que permite a análise sequencial e a identificação rápida na mudança de comportamento dos dados.

1.3 Hipótese Básica da Dissertação

Parte-se da hipótese de que, para o monitoramento de doenças de notificação compulsória, é necessário considerar as características de tendência e sazonalidade de cada doença. Combinando as técnicas estatísticas de controle de estatístico de qualidade e de séries temporais, nossa proposta pretende aumentar a rapidez na identificação de mudanças de comportamentos ao longo do tempo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de modelagem estatística para o monitoramento de doenças de notificação compulsória.

1.4.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, podem-se enumerar:

- Apresentar uma metodologia para aplicação de gráficos de controle para monitoramento de doenças que apresentam tendência crescente ou decrescente;
- Mostrar uma visão geral sobre a vigilância em saúde;

- Abordar as técnicas estatísticas de controle estatístico da qualidade e de séries temporais;
- Apresentar uma metodologia para aplicação de gráficos de controle para monitoramento de doenças que apresentam sazonalidade;
- Apresentar, de forma sistemática, os procedimentos estatísticos utilizados para o monitoramento das DNC's.

1.5 As Limitações do Trabalho

Como principais limitações deste trabalho, têm-se:

- A não disponibilidade de dados mais recentes das doenças estudadas;
- O grande quantitativo de doenças que compõe a lista de notificação compulsória, o que impossibilitou o estudo de outras doenças com características diferentes das abordadas neste estudo.

1.6 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação de mestrado encontra-se dividida em cinco capítulos, a saber:

- Capítulo 1: refere-se à introdução do trabalho, onde são englobados a justificativa e importância do trabalho, a hipótese do trabalho, objetivos geral e específicos, além das suas limitações;
- Capítulo 2: traz uma visão geral sobre a vigilância em saúde;
- Capítulo 3: apresenta as técnicas estatísticas de controle estatístico de qualidade e de séries temporais, necessárias ao desenvolvimento da nossa proposta de modelagem estatística para o monitoramento de doenças de notificação compulsória;
- Capítulo 4: descreve a metodologia proposta para o monitoramento de doenças de notificação compulsória;

- Capítulo 5: mostra a aplicação da proposta de modelagem estatística em dados que apresentam tendência ou sazonalidade;
- Capítulo 6: apresenta as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Vigilância em Saúde Pública

2.1 Introdução

Segundo Sanches (2000), um dos objetivos da vigilância em saúde pública é monitorar algumas características relacionadas à ocorrência de uma ou mais doenças, a partir de taxas médias de incidências ou número médio de novos casos. Se estas taxas ou esses números se mantêm dentro de um intervalo de variação pré-fixado, a condição de saúde da população monitorada, em relação a essas doenças, está sob controle. Assim, por analogia, pode-se afirmar que o processo de vigilância em saúde pública, bom como um processo industrial, consiste no monitoramento contínuo de características de população, para identificação de possíveis alterações bruscas do comportamento dessas.

De acordo com o Ministério da Saúde, uma das ferramentas de trabalho mais importantes para a vigilância em saúde é a informação. Dispor de informações de qualidade, que retratem de forma fidedigna a situação de saúde nos diversos estados e municípios brasileiros, permite que o sistema de saúde planeje melhor suas ações de prevenção e controle de doenças, assim como de promoção da saúde.

A Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS) do Ministério da Saúde gerencia os sistemas de informação para uso em epidemiologia, reunindo, organizando, analisando e divulgando informações epidemiológicas de interesse do país. Constrói e revisa os indicadores epidemiológicos para monitoramento do quadro sanitário nacional, além de desenvolver e difundir técnicas e instrumen-

tos de análise de situação de saúde aplicáveis aos diferentes níveis do Sistema Único de Saúde (SUS).

2.2 Transição Epidemiológica no Brasil

Schramm (2004) dá um panorama da transição epidemiológica pela qual passa o Brasil, mostrando a diminuição da incidência das doenças infecciosas e o aumento de doenças crônico-degenerativas. Isto retrata a consolidação da vigilância epidemiológica nos últimos anos, observada pela manutenção da eliminação de algumas doenças infecto-contagiosas agudas e pela erradicação de outras, todas passíveis de prevenção primária por imunização ativa. Apesar dos avanços alcançados nesta área, ainda identificam-se retrocessos como os das doenças infecto-contagiosas de curso prolongado (tuberculose) ou parasitárias endêmicas (Lessa, 2004), que são conseqüências das condições sócio-ambientais desfavoráveis e da inexistência ou precariedade da educação para a saúde. Por outro lado, a reemergência de algumas doenças após sua erradicação, como por exemplo, a cólera e a dengue, é motivo de alerta para os gestores de saúde, pois indica em geral, falta de vigilância adequada.

O monitoramento contínuo de doenças é de fundamental importância, pois além de caracterizar e/ou revelar a situação de saúde da população, mostrando, por exemplo, tendências, ocorrências de surtos e epidemias, permitem avaliar também as medidas de prevenção e controle realizadas.

A identificação de padrões das doenças nos municípios pelos níveis endêmicos, que corresponde aos limites máximos e mínimos de incidência de doenças, a análise das características de tendência e sazonalidade e a divulgação dessas informações para os profissionais que atuam nas unidades de saúde resultariam no aprimoramento do sistema de vigilância em saúde, pois seria possível identificar com maior rapidez mudanças no comportamento das doenças, o que daria subsídios para os gestores implementarem ações de prevenção em tempo hábil, evitando o aumento na morbidade e mortalidade.

Os Sistemas de Informação em Saúde que produzem informações epidemiológicas são: Sistema de Informação de Mortalidade (SIM), Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (SINASC) e Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN).

2.3 Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN)

O monitoramento de doenças de notificação compulsória é realizado pelo Sistema de Informação de Agravos de Notificação do Ministério da Saúde. A regulamentação do SINAN a partir de 1998 tornou obrigatória a alimentação regular da base de dados pelos municípios, estados e Distrito Federal. O SINAN tem como objetivos: coletar, transmitir e disseminar dados gerados na rotina do sistema de vigilância epidemiológica das três esferas de governo, fornecer informações para análise do perfil da morbidade e, conseqüentemente, facilitar a formulação e avaliação das políticas, planos e programas de saúde, subsidiando o processo de tomada de decisões (Brasil, 2005).

A concepção do SINAN foi norteadada pela padronização de conceitos de definição de caso; pela transmissão de dados a partir da organização hierárquica das três esferas de governo; pelo acesso à base de dados necessária para a análise epidemiológica e pela possibilidade de disseminação rápida dos dados gerados na rotina do Sistema Nacional de Vigilância Epidemiológica do Sistema Único de Saúde (Laguardia *et al.*, 2004).

O SINAN é alimentado pelas fichas de notificação e de investigação de casos das doenças e agravos, da lista nacional de doenças de notificação compulsória (Anexo B), composta por 41 doenças. A Figura 2.1 apresenta o fluxograma de notificações compulsórias de doenças no sistema nacional de vigilância em saúde.

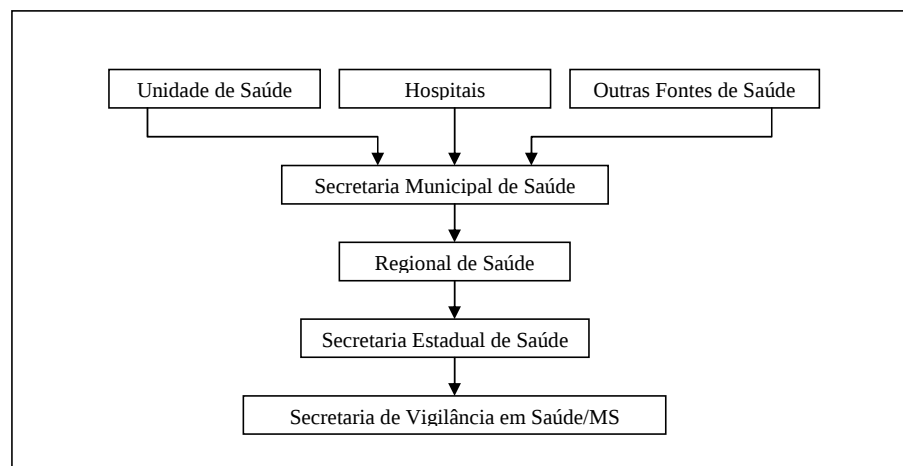


Figura 2.1 *Fluxograma de Notificações Compulsórias de Doenças no Sistema de Vigilância em Saúde.*

As séries de doenças de notificação compulsória possuem componentes de tendências, sazonalidade e ciclicidade que resultam em uma autocorrelação substancial, tais componentes são originadas de diversos fatores (Williamson; Hudson, 1999). Neste trabalho serão utilizadas as séries de doenças de Tuberculose, Leptospirose e Meningite Bacteriana.

2.3.1 Tuberculose

A tuberculose é um problema grave de saúde pública e representa uma das maiores incidências nas doenças de notificação compulsória. Ocorre com maior frequência em áreas de grande concentração populacional e precárias condições socioeconômicas e sanitárias e não apresenta variações cíclicas ou sazonais de importância prática. A distribuição da doença é mundial, com tendência decrescente da morbidade e mortalidade nos países desenvolvidos (Brasil, 2005).

A tuberculose é transmitida de pessoa a pessoa, principalmente através do ar. A fala, o espirro e, principalmente, a tosse de um doente de tuberculose pulmonar bacilífera lança no ar gotículas, de tamanhos variados, contendo no seu interior o bacilo. As gotículas mais pesadas depositam-se rapidamente no

solo, enquanto que as mais leves podem permanecer em suspensão por diversas horas (Brasil, 2005).

A tuberculose é uma doença grave, porém curável em praticamente 100% dos casos novos, desde que os princípios da quimioterapia sejam seguidos. O tratamento dos bacilíferos é a atividade prioritária de controle da tuberculose, uma vez que permite anular rapidamente as maiores fontes de infecção. Poucos dias após o início da quimioterapia, os bacilos da tuberculose praticamente perdem seu poder infectante. Assim, os doentes “pulmonares positivos” não precisam, nem devem, ser segregados do convívio familiar e comunitário. A associação medicamentosa adequada, doses corretas, uso por tempo suficiente, com supervisão da tomada dos medicamentos, são os meios utilizados para evitar a persistência bacteriana e o desenvolvimento de resistência às drogas, assegurando a cura do paciente.

2.3.2 Leptospirose

A Leptospirose é uma zoonose de grande importância social e econômica e de caráter sazonal, relacionada aos períodos chuvosos, pois, quando há elevação dos índices pluviométricos, há um aumento na incidência de casos da doença. É uma doença endêmica, sendo comum o surgimento de casos isolados ou de pequenos grupos de casos, tornando-se epidêmica sob determinadas condições, tais como umidade e temperaturas elevadas e alta infestação de roedores contaminados (Brasil, 2005).

A infecção humana resulta da exposição direta ou indireta à urina de animais infectados. A penetração do microrganismo dá-se através da pele lesada ou das mucosas da boca, narinas e olhos. Pode também ocorrer através da pele íntegra quando imersa em água por longo tempo. O contato com água e lama contaminadas demonstra a importância do elo hídrico na transmissão da doença ao homem. Há outras modalidades de transmissão relatadas, porém com pouca frequência: contato com sangue, tecidos e órgãos de animais infec-

tados, transmissão acidental em laboratórios e ingestão de água ou alimentos contaminados (Brasil, 2005).

Vários fatores interagem na ocorrência de um caso de leptospirose; portanto, as medidas de prevenção e/ou controle deverão ser direcionadas não-somente aos reservatórios como também à melhoria das condições de proteção dos trabalhadores expostos, das condições higiênico-sanitárias da população e às medidas corretivas no meio ambiente.

No Brasil, não existe uma vacina disponível para uso humano contra a leptospirose. A vacinação de animais domésticos (cães, bovinos e suínos) evita que adoçam, mas não impede que se infectem.

2.3.3 Meningite Bacteriana

A meningite pode ser causada por diversos agentes infecciosos, como bactérias, vírus e fungos, dentre outros, e agentes não-infecciosos (ex: traumatismo). As de origem infecciosa, principalmente as causadas por bactérias e vírus, são as mais importantes do ponto de vista da saúde pública, pela magnitude de sua ocorrência e pelo potencial de produzir surtos (Brasil, 2005).

As meningites têm distribuição mundial e sua expressão epidemiológica depende de fatores como o agente infeccioso, a existência de aglomerados populacionais e características socioeconômicas dos grupos populacionais e do meio ambiente (clima). De modo geral, a sazonalidade da doença caracteriza-se pelo predomínio das meningites bacterianas no inverno e das meningites virais no verão.

Em geral, a transmissão é de pessoa a pessoa, através das vias respiratórias, por gotículas e secreções da nasofaringe, havendo necessidade de contato íntimo (residentes na mesma casa, colega de dormitório ou alojamento, namorado) ou contato direto com as secreções respiratórias do paciente (Brasil, 2005).

Em se tratando de meningite bacteriana, o tratamento com antibiótico deve ser instituído tão logo seja possível, preferencialmente logo após a punção

lombar e a coleta de sangue para hemocultura. O uso de antibiótico deve ser associado a outros tipos de tratamento de suporte, como reposição de líquidos e cuidadosa assistência.

2.4 Algumas das Principais Pesquisas de Monitoramento na Vigilância em Saúde Pública

Brookmeyer e Stroup (2004) discutem sobre o monitoramento de saúde das populações, os princípios estatísticos e métodos para vigilância em saúde pública. Desse trabalho, destacam-se as principais técnicas estatísticas utilizadas para detecção de surtos de doenças infecto-contagiosas, as quais são classificadas por Farrington e Andrews (2004) como: métodos de regressão, métodos de séries temporais e métodos de controle estatístico da qualidade.

Um dos métodos mais populares no monitoramento de doenças foi proposto por Stroup *et al.* (1989) para identificar mudanças na incidência dessas doenças e consiste na comparação do número de casos do mês atual com o intervalo de confiança baseado na contagem do número de casos mesmo mês nos últimos cinco anos. Isto evita o efeito da sazonalidade nos dados, porém não esclarece alterações nos dados passados, tornando o método menos sensível para detecção de mudanças futuras. Farrington *et al.* (1996) melhoram este modelo adicionando a tendência e dando peso menor as discrepâncias nos dados passados. A combinação do modelo de séries temporais e o modelo de controle estatístico de qualidade foi proposto por Williamson e Hudson (1999) sob a suposição de dados distribuídos normalmente, mas a condição de normalidade nem sempre é encontrada, principalmente em pequenas incidências quando observa-se baixas taxas de incidências de doenças (Hofmann, 2007).

O'Brien e Christie (1997) afirmam que o gráfico de controle da soma cumulativa (CUSUM), introduzido por Page (1954) para distribuições independentes e normalmente distribuídas, é uma ferramenta altamente sensível para

infecções de baixa incidência e com flutuações grandes, que podem ser de difíceis interpretações.

Sonesson e Bock (2003) fazem uma revisão bibliográfica das principais técnicas estatísticas de vigilância prospectiva. Hofmann (2007) propõe a utilização de inferência bayesiana para o monitoramento de doenças infectocontagiosas. Zeger (1988) utiliza o modelo linear generalizado para analisar a infecção por poliomelite nos Estados Unidos.

Até 2001, os métodos estatísticos eram utilizados com pelo menos uma série histórica de cinco anos, após os episódios da contaminação do Antrax e o episódio do dia 11 de setembro, o interesse por metodologias que produzam bons resultados com um número menor de dados cresceu (Hutwagner *et al.*, 2005).

Comparações entre os diversos métodos propostos também são alvo de estudos. Cowling *et al.* (2006) comparam modelos de séries temporais, modelo de regressão e soma cumulativa (CUSUM) em dados da influenza. Hutwagner *et al.* (2005) fazem uma comparação com dados simulados de três métodos que requerem menos de três anos de contagem de dados com dois métodos que requerem cinco anos na série histórica.

Neste capítulo, foi apresentado o conceito de vigilância em saúde e a situação de transição epidemiológica no Brasil. Foi mostrado o fluxo do sistema de informações responsável pela coleta de dados das notificações. Algumas das principais pesquisas realizadas no monitoramento de doenças também foram mostradas. No próximo capítulo, serão abordadas as técnicas estatísticas que serão utilizadas para o monitoramento de séries de doenças.

Capítulo 3

Metodologias de Modelagem Estatística

Este capítulo é dedicado a apresentação das metodologias de modelagem estatística desenvolvidas para o monitoramento de doenças de notificação compulsória. As metodologias estão baseadas em técnicas estatísticas, basicamente, nas técnicas de Controle Estatístico da Qualidade e de Séries Temporais. Desta forma, inicialmente é apresentada uma descrição geral de gráficos de controle e de alguns gráficos específicos, como exemplo, o gráfico de controle de regressão e o gráfico de controle para observações individuais. Em seguida é mostrada a técnica estatística de séries temporais, onde são introduzidos os conceitos principais e a forma de obtenção de previsão, além da classificação e descrição dos métodos de decomposição e de suavização exponencial. Também são feitas considerações a respeito desses métodos e sobre as medidas de acuidade usualmente adotadas na avaliação de tais métodos.

3.1 Gráficos de Controle

Desenvolvidos por Shewhart em 1924, os gráficos de controle tinham como objetivo inicial o monitoramento do desempenho de um processo industrial em uma empresa de telecomunicações (Shewhart, 1931). Hoje os gráficos de controle são se restringem apenas a área industrial, mas, pela sua facilidade de operacionalização, são aplicados nas mais diversas áreas.

Os gráficos de controle são ferramentas importantes para o monitoramento em qualquer processo, pois permitem diferenciar as causas aleatórias da variação, que são naturais ao processo, das causas atribuíveis, que indicam um mau

funcionamento e que precisam ser identificadas e eliminadas o mais rápido possível. Um processo é dito “sob controle estatístico” quando opera apenas com causas aleatórias da variação e “fora de controle estatístico” quando opera com a presença de causas atribuíveis.

O problema de detecção prospectiva de surtos de doenças infecto-contagiosas é similar a detecção de aberrações no processo de produção industrial (Farrington e Andrews, 2004). Em um processo de produção industrial, os gráficos de controle têm como objetivo identificar se a qualidade dos lotes produzidos continuamente está dentro de um padrão pré-estabelecido; caso isto não ocorra, um alarme deverá ser disparado e o processo será interrompido até que as causas da alteração sejam removidas. A vigilância em saúde tem a função de monitorar o número de casos ou taxas de incidências de doenças e verificar se estão dentro de um intervalo de variação pré-fixado para a população monitorada. Nas duas situações, é necessário verificar se a alteração é devido a causas naturais ou outro fator externo.

Segundo Montgomery (2004), qualidade é inversamente proporcional à variabilidade, ou seja, quanto menor a variabilidade de uma característica de um produto maior é a qualidade deste produto. Dentro de um processo produtivo a busca pela qualidade deve ser contínua, assim a eliminação total da variabilidade resulta em um processo perfeito, caso o nível do processo esteja centrado no alvo. A eliminação total da variabilidade pode não ser possível, pois existem variações que são inerentes ao processo.

As causas da variabilidade de um processo podem ser naturais, originadas de causas muito pequenas e essencialmente inevitáveis e que ocasionam uma variabilidade muito pequena, ou causas atribuíveis, que podem ser evitáveis e provocam grandes alterações no processo.

3.1.1 Visão Geral de Gráficos de Controle

O gráfico de controle é uma representação gráfica do processo ao longo do tempo. É formado por uma linha central (LC), que representa o nível

da distribuição, e de outras duas linhas que representam o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC), como mostra a Figura 3.1. Os limites de controle são utilizados para avaliar se o processo está sob controle estatístico. Se o processo está sob controle estatístico, os pontos amostrais devem estar entre os dois limites. No entanto, se um ponto estiver fora dos limites de controle o processo está fora de controle estatístico, sendo necessária uma investigação para identificação das causas atribuíveis responsáveis por esse comportamento.

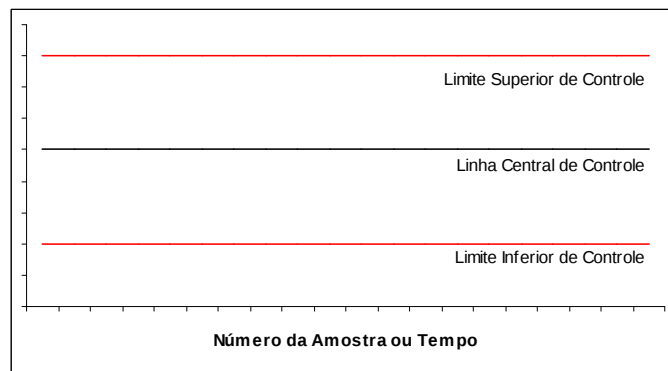


Figura 3.1 *Formato Geral de um Gráfico de Controle proposto por Shewhart em 1924.*

O modelo geral dos gráficos de controle é baseado em premissas apresentadas por Shewhart (1931) e abrange uma estatística de amostra W , que mede continuamente a variabilidade de algumas características de qualidade de interesse e que tem a média denotada por μ_w e desvio padrão denotado por σ_w . Os valores desta estatística a serem “*plotados*” no gráfico de controle são obtidos a partir de cada uma das amostras coletadas do processo em determinados períodos de tempo. Desta forma, o modelo geral dos gráficos de controle é definido a partir de

$$LSC = \mu_w + k\sigma_w \quad (\text{Limite Superior de Controle}),$$

$$LC = \mu_w \quad (\text{Linha Central}) \text{ e}$$

$$LIC = \mu_w - k\sigma_w \quad (\text{Limite Inferior de Controle}),$$

onde k é a distância da linha central a cada um dos limites de controle expressa em termos de unidades de desvio padrão.

As suposições básicas para implantar um gráfico de controle são a independência e a normalidade dos dados. Quando essas suposições estão satisfeitas, os gráficos de controle convencionais podem ser aplicados, e conclusões sobre o processo podem ser obtidas (Montgomery, 2004).

Em algumas situações, quando a normalidade dos dados é violada leve ou moderadamente, os gráficos de controle continuam funcionando razoavelmente bem. Entretanto, quando as observações estão autocorrelacionadas, isto é, não são independentes, o uso de gráficos de controle não tem um bom desempenho, levando a resultados enganosos sob a forma de demasiados alarmes falsos quando na verdade eles são devidos a causas naturais de um processo autocorrelacionado. Nessas situações, é necessário primeiramente tratar os dados para eliminar a autocorrelação do processo.

3.1.2 Tipos de Gráficos de Controle

Existem vários critérios para classificar os gráficos de controle. Por exemplo, segundo a característica da qualidade, podem ser classificados como: gráficos de controle para variáveis e gráficos de controle para atributos. Os gráficos de controle para variáveis são utilizados quando a característica da qualidade puder ser expressa como algum tipo de medição. E os gráficos de controle para atributos, quando a característica da qualidade puder ser expressa por uma classificação ou contagem.

Para analisar os gráficos de controle para variáveis é necessário monitorar, tanto o nível da característica de qualidade quanto à variabilidade. Para controle do nível do processo usualmente utilizam-se os gráficos da média ($\bar{x}$) e da mediana ($\tilde{x}$). Para controle da variabilidade utilizam-se os gráficos da amplitude (R), do desvio-padrão (σ) e da variância (σ^2).

Para a análise de atributos os gráficos de controle mais utilizados são os para a fração não-conforme, ou gráfico p , os gráficos para as não-conformidades, ou gráfico c , e os gráficos para não-conformidades por unidade, ou gráfico u .

Outra forma de classificar os gráficos de controle é verificar se a decisão a ser tomada será em função do resultado amostral apresentado ou se é também em amostras precedentes. Gráficos de controle do tipo Shewhart somente utilizam o resultado amostral atual, sendo conhecidos como gráficos de controle sem memória. Gráficos de controle com memória, por exemplo, CUSUM (*Cumulative Sum*) e EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*), utilizam os resultados das amostras precedentes.

3.2 Gráficos de Controle para Observações Individuais

Conforme Costa *et al.* (2004) uma alternativa para controle estatístico de processos para amostras de tamanho $n = 1$ consiste na substituição do gráfico para a média pelo gráfico controle para observações individuais e na substituição do gráfico de controle para amplitude pelo gráfico de controle para a amplitude móvel.

O gráfico de controle para observações individuais controla o nível do processo a partir

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{x} + k \frac{\overline{MR}}{d_2}, \\ LC &= \bar{x} \\ LIC &= \bar{x} - k \frac{\overline{MR}}{d_2}, \end{aligned} \tag{3.1}$$

onde $\bar{x}$ é a média dos valores individuais obtidos, k é a distância da linha central a cada um dos limites de controle expressa em termos de unidades de desvio padrão, $\overline{MR}$ é a média das amplitudes e d_2 é o valor obtido a partir de Mittag e Rinne (1993), que está tabulado para alguns tamanhos amostrais na Tabela 6.2 do Anexo A.

O gráfico para observações individuais é utilizado conjuntamente com o

gráfico para a amplitude móvel que é obtido a partir de

$$\begin{aligned} LSC &= D_4 \overline{MR}, \\ LC &= \overline{MR} \\ LIC &= D_3 \overline{MR}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

onde $\overline{MR}$ é a média das amplitudes e os valores de D_3 e D_4 , obtidos a partir de Mittag e Rinne (1993), estão tabulados para alguns tamanhos amostrais na Tabela 6.2 do Anexo A.

3.3 Gráficos de Controle para Observações Individuais com Linha Central Móvel

Para que os limites de controle descrevam com maior fidedignidade e identifique o intervalo de variação com maior precisão, respeitando a característica de sazonalidade dos dados, utiliza-se o gráfico de controle para observações individuais com linha central móvel. Os limites do gráfico de controle e a linha central são obtidos por

$$\begin{aligned} LSC &= \hat{Y}_i + 2\hat{\sigma}_e, \\ LC &= \hat{Y}_i \\ LIC &= \hat{Y}_i - 2\hat{\sigma}_e, \end{aligned} \quad (3.3)$$

onde $\hat{Y}_i$ é a i -ésima estimativa do número de notificações obtidas a partir do modelo de Séries Temporais e $\hat{\sigma}_e$ é uma estimativa do desvio dos erros, dado por

$$\hat{\sigma}_e = \sqrt{\frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - 1}}, \quad (3.4)$$

onde Y_i é o número de notificações observadas e n é o número de meses estudados.

3.4 Gráficos de Controle de Regressão

Em algumas situações existe a necessidade de monitoramento de dados que apresentam naturalmente uma tendência decrescente ou crescente. Um exemplo disso são séries de doenças que tem tendência decrescente por causa das medidas preventivas implementadas, como vacinas, melhoria das condições sanitárias da população, etc. Nessas situações os gráficos de controle tradicionais não podem ser utilizados podendo surgir falsos alarmes indicando uma situação “fora de controle estatístico” quando na verdade eles são devidos a causas naturais do processo.

Segundo Almeida (2003), o gráfico de controle de regressão é utilizado quando os resultados de uma variável do processo analisada apresentam uma tendência normal de ascendência ou descendência que é oriunda de uma relação de causa e efeito entre variáveis.

Os gráficos de controle de regressão introduzidos por DiPaola (1945) descrevem o controle simultâneo de duas variáveis, cujo objetivo é controlar uma variação média em lugar de uma constante, onde o relacionamento entre estas duas variáveis é obtido pela equação de regressão clássica.

3.4.1 Elementos do Gráfico de Controle de Regressão

De acordo com Almeida (2003), o gráfico de controle de regressão assume os valores da variável dependente Y que são linearmente relacionados com a variável independente X . Para cada valor específico X , é assume-se que os valores de Y são normalmente e identicamente distribuídos, com valor médio estimado pela linha de regressão e, com erro padrão que é independente do valor de X , sendo estimado pelos desvios das observações atuais e dos valores estimados de Y da linha de regressão.

O gráfico de controle de regressão controla uma variação média obtida a partir da linha de regressão estimada. Esta linha de regressão é chamada de

linha central (LC) e é apresentada da seguinte forma

$$LC = \hat{Y} = \hat{\alpha}_q + \hat{\beta}_q X, \quad (3.5)$$

onde $\hat{Y}$ é utilizado para representar o valor ajustado da variável dependente, X é a variável independente e $\hat{\alpha}_q$ e $\hat{\beta}_q$ são as estimativas dos parâmetros desconhecidos da regressão obtidos por mínimos quadrados

$$\hat{\alpha}_q = \bar{y} - \hat{\beta}_q \bar{x}, \quad (3.6)$$

e

$$\hat{\beta}_q = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2}, \quad (3.7)$$

Onde, para $i = 1, \dots, n$, x_i são as observações da variável independente, y_i são as observações da variável dependente, $\bar{x}$ é a média amostral das observações da variável X , $\bar{y}$ é a média amostral das observações da variável Y e n o número de observações.

As linhas dos limites de controle são paralelas à linha de regressão e não ao eixo horizontal, como é o caso do gráfico de controle do tipo Shewart. Para obter-se a forma do gráfico de regressão, a relação entre as variáveis não pode ser desprezada, então, torna-se fundamental, antes de construir o gráfico de controle de regressão, “*plotar*” os dados em um diagrama de dispersão, com o objetivo de confirmar se existe ou não a relação entre as variáveis, ou ainda, verificar a existência de pontos que fogem do comportamento geral dos dados.

Os pontos que saem do padrão mostrado pelo diagrama de dispersão devem ser investigados. Se esses pontos são devidos a causas atribuíveis, ou se não estiverem associados com o sistema de causas constantes, eles deverão ser excluídos dos cálculos utilizados para estabelecer o gráfico de controle.

O desvio padrão para o gráfico de regressão é o chamado “erro padrão estimado” da linha de regressão. Não deve ser confundido com o erro padrão

de um valor predito da variável dependente. Segundo Mandel (1969), o erro padrão para o gráfico de controle de regressão é o desvio padrão estimado baseado nos desvios dos valores observados sobre a linha de regressão, de acordo com

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2}}, \quad (3.8)$$

onde Y_i é o valor observado da variável dependente, $\hat{Y}_i$ a estimativa de Y_i e n o número de observações.

Porém, como o objetivo do gráfico de controle é controlar uma variação média, que nada mais é do que uma esperança condicional de Y dado X , pode-se utilizar o erro padrão dado por

$$S_{\hat{Y}_i} = S_e \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}, \quad (3.9)$$

onde S_e é obtido pela Equação (3.8) e X_0 é o valor particular de X no qual o erro padrão de $\hat{Y}_i$ é estimado.

De acordo com Mandel (1969), outra maneira de obter linhas de controle mais exatas consiste em utilizar a estimativa do erro padrão dada pelo erro padrão de um valor predito da variável dependente, obtida a partir de

$$S_{\hat{Y}_{pi}} = S_e \sqrt{\frac{n+1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}. \quad (3.10)$$

Quanto aos limites de controle (superior e inferior) Almeida (2003) destaca que o uso de 2σ garante um limite estreito, com alto risco de alarmes falsos, enquanto que 3σ garante limites mais largos, com menor probabilidade de alarmes falsos. Isto é um assunto de decisão gerencial baseado na economia e na experiência do processo em questão.

Assim, pode-se agora montar os limites do gráfico de controle utilizando-se

uma confiança fixada k , ou seja, $\pm k\sigma$, onde $k = 1, 2$ ou 3 e σ é um estimador do erro padrão, que pode ser estimado a partir das Equações (3.8), (3.9) ou (3.10). Portanto, a linha central (LC) e os limites de controle superior (LSC) e inferior (LIC) do Gráfico de Controle de Regressão clássico são obtidos a partir da Equação 3.11.

$$\begin{aligned} LSC &= \hat{Y}_i + k\sigma \\ LC &= \hat{Y}_i = \hat{\alpha}_q + \hat{\beta}_q X_i \quad (i = 1, 2, 3 \dots, n) \text{ e} \\ LIC &= \hat{Y}_i - k\sigma, \end{aligned} \tag{3.11}$$

onde $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$ são as estimativas dos parâmetros desconhecidos do modelo de regressão, obtidos pelas Equações (3.6) e (3.7), respectivamente.

3.5 Séries Temporais

A análise de séries temporais tem como objetivo 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.

3.5.1 Visão Geral de Séries Temporais

Uma série temporal é uma sequência de observações ordenadas no tempo de uma variável de interesse X , que apresentam dependência serial, isto é, dependência entre instantes de tempo (Moretin; Tolo, 2006).

Objetivos da análise de séries temporais:

- i. Descrição: identificar a natureza do fenômeno representado procurando um padrão de comportamento, como o padrão de tendência, a existência de variação sazonal, *outliers* (valores discrepantes), alterações estruturais, etc;

- ii. Explicação: usar a variação em uma série para explicar a variação em outra série;
- iii. Predição: prever a evolução da variável da série temporal a partir de um modelo matemático que descreva o comportamento das observações.

Uma das suposições mais freqüentes que se faz sobre séries temporais é a estacionariedade, ou seja, uma série é estacionária quando se desenvolve no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante. Porém, uma das características das séries de doenças de notificação compulsória é a não-estacionariedade, em geral, causada pela presença de tendência e/ou sazonalidade, sendo o caso mais simples aquele em que a série flutua ao redor de uma reta, com inclinação positiva ou negativa (tendência linear). A sazonalidade, quando presente mostra-se de forma bastante marcante, como a incidência de dengue, que tem um aumento de casos nos períodos chuvosos.

O estudo dos processos estacionários pode ser feito no domínio da freqüência ou no domínio do tempo. O estudo no domínio da freqüência dá ênfase aos conceitos de periodograma e de densidade espectral, o domínio no tempo, às funções de autocovariância e autocorrelação (Beltrão, 1991).

A autocorrelação é uma medida de dependência entre observações da mesma série separadas por um determinado intervalo chamado retardo. A função de autocorrelação (FAC) nada mais é do que a representação gráfica do coeficiente de autocorrelação em função dos diversos retardos que podem ser atribuídos aos dados (Box *et al.*, 1994). A função de autocorrelação (FAC) é definida por

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (3.12)$$

onde γ_k é a covariância na defasagem (*lag*) k , e γ_0 é a variância. O coeficiente de correlação ρ_k varia entre -1 e 1 e sua estimativa é dada por

$$r_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{\frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.13)$$

onde x_i é o i -ésimo valor da variável aleatória X , $\bar{x}$ é a média estimada da variável X .

Na escolha de modelos para previsão de séries temporais, deve-se levar em conta o comportamento dos dados e, basicamente quatro hipóteses podem ser levantadas: (i) hipótese de permanência (estacionariedade); (ii) hipótese de trajetória padrão (tendência); (iii) hipótese sazonal com permanência (sazonalidade) e (iv) hipótese sazonal com trajetória (tendência e sazonalidade).

Os modelos utilizados para descrever séries temporais são processos estocásticos, isto é, processos controlados por leis probabilísticas. Então, considere T um conjunto arbitrário. Um processo estocástico é uma família $Z = Z(t), t \in T$, tal que, para cada $t \in T$, $Z(t)$ é uma variável aleatória. Assim, um processo estocástico é uma família de variáveis aleatórias definidas em um mesmo espaço de probabilidades. O conjunto T é, em geral, o conjunto dos inteiros $Z = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ou o conjunto dos reais $\mathbb{R}$.

As quatro componentes básicas que podem integrar uma série temporal são:

- i.* Tendência: indica o comportamento da série a “longo prazo”, isto é, se ela “sobe”, “desce” ou “permanece” estável e qual a velocidade destas mudanças;
- ii.* Sazonalidade: consiste nas flutuações periódicas da variável, ou seja, indica um padrão na série dentro de um período de um ano;
- iii.* Ciclo: indica padrões na série que se repetem em períodos superiores a um ano. A sua identificação só é possível quando se dispõe de séries longas, sendo freqüente ignorar esta componente para séries curtas;

iv. Erro: reflete flutuações a curto prazo, com um caráter errático e imprevisível.

Pode-se combinar as componentes básicas de séries temporais a partir do modelo aditivo, a saber,

$$Z_t = T_t + S_t + C_t + a_t, \quad (3.14)$$

adequado quando a sazonalidade (S_t) não depende das outras componentes, como tendência (T_t). Se as amplitudes sazonais variam com a tendência, um modelo mais adequado é o multiplicativo, ou seja,

$$Z_t = T_t \times S_t \times C_t \times a_t, \quad (3.15)$$

onde T_t , S_t e C_t são os componentes de tendência, sazonalidade e ciclicidade, respectivamente, do modelo e a_t representa o erro aleatório de média zero e variância constante (ruído branco).

Dentre os diversos métodos e modelos de previsão existentes que se baseiam na idéia de que as observações passadas da série contêm informações sobre o seu padrão de comportamento futuro, podemos citar o método de decomposição, o modelo de suavização exponencial e o modelo de Box-Jenkins.

3.6 Método de Decomposição

A maneira tradicional de analisar uma série temporal é a partir da decomposição de seus componentes (Moretin; Toloi, 2006). Este tipo de abordagem isola cada uma das diferentes características da série cronológica e tenta encontrar processos adequados de estimar cada um deles para períodos futuros.

Makridakis e Wheelwright (1985) dizem que, no método de decomposição, assume-se que uma série temporal é constituída por um conjunto de componentes não-observáveis. Dessa forma, pela identificação das componentes individuais presentes no padrão básico da série histórica de dados (tendência, sazonalidade, ciclo e aleatoriedade), a extrapolação para o futuro pode ser realizada.

3.6.1 Análise da Tendência

Supõe-se inicialmente que a componente sazonal S_t não esteja constante no modelo considerado, isto é,

$$Z_t = T_t + a_t, \quad (3.16)$$

onde a_t é o ruído branco, com variância σ_a^2 .

Os métodos mais utilizados para estimar a tendência são:

- i.* Ajustar uma função do tempo, como um polinômio, uma exponencial ou outra função suave de t ;
- ii.* Suavizar (ou filtrar) os valores da série ao redor de um ponto, para estimar a tendência naquele ponto;
- iii.* Suavizar os valores da série a partir de sucessivos ajustes de retas de mínimos quadrados ponderados (“*lowess*”).

A série ajustada livre de tendência é dada por

$$Y_t = Z_t - \hat{T}_t. \quad (3.17)$$

A tendência polinomial é utilizada para ajustar uma curva aos valores observados da série para estimar T_t e fazer previsões. Suponha, então que

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t + \dots + \beta_m t^m, \quad (3.18)$$

onde o grau m do polinômio é bem menor que o número de observações N . Para estimar os parâmetros β_j , utiliza-se o método dos mínimos quadrados, ou seja, minimiza-se

$$f(\beta_0, \dots, \beta_m) = \sum (Z_t - \beta_0 - \beta_1 t - \dots - \beta_m t^m)^2, \quad (3.19)$$

obtendo os estimadores de mínimos quadrados $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_m$.

3.6.2 Análise da Sazonalidade

O objetivo da análise da sazonalidade é isolar os efeitos das flutuações periódicas (que se repetem em períodos curtos) presentes na série, ou seja, estimar S_t e subtrair a série estimada de Z_t . A série sazonalmente ajustada para o modelo aditivo na forma é

$$Z_t^{SA} = Z_t - \hat{S}_t, \quad (3.20)$$

e, para o modelo multiplicativo,

$$Z_t^{SA} = \frac{Z_t}{\hat{S}_t}. \quad (3.21)$$

Existem vários procedimentos para se estimar a sazonalidade (S_t), sendo que os mais usuais são: o método de regressão e o método de médias móveis. Os métodos de regressão são ótimos para séries que apresentam sazonalidade determinística, ou seja, que pode ser prevista a partir de meses anteriores, enquanto o método de médias móveis é apropriado quando se tem uma série temporal cuja componente sazonal varia com o tempo, ou seja, para séries cuja sazonalidade é estocástica.

3.6.3 Sazonalidade Determinística - Método de Regressão

Os métodos de regressão são utilizados para séries que apresentam sazonalidade determinística, ou seja, que pode ser prevista perfeitamente a partir de meses anteriores.

No modelo

$$Z_t = T_t + S_t + a_t, \quad (3.22)$$

tem-se que

$$T_t = \sum_{j=0}^m \beta_j t^j; \quad (3.23)$$

e

$$S_t = \sum_{j=1}^{12} \alpha_j d_{jt}; \quad (3.24)$$

onde d_{jt} são variáveis periódicas (seno, co-senos ou variáveis sazonais “*dummies*”), β_j e α_j as constantes de tendência e sazonalidade, respectivamente, e a_t é ruído branco, com média zero e variância σ_a^2 . Dado a suposição da sazonalidade constante, α_j não depende de t . Pode-se ter, por exemplo, $d_{jt} = 1$, se o período t corresponde ao mês j , $j = 1, \dots, 12$, e 0, caso contrário. Neste caso,

$$d_{1t} + d_{2t} + \dots + d_{12t} = 1, \quad t = 1, \dots, N, \quad (3.25)$$

de modo que a matriz de regressão não é completa, mas de posto $m + 12$. Impondo-se a restrição adicional

$$\sum_{j=1}^{12} \alpha_j = 0; \quad (3.26)$$

obtém-se um modelo de posto completo, isto é,

$$Z_t = \sum_{j=0}^m \beta_j t^j + \sum_{j=1}^{11} \alpha_j D_{jt} + a_t, \quad (3.27)$$

onde $D_{jt} = 1$, se o período t corresponde ao mês j , $D_{jt} = -1$ se o período t corresponde ao mês 12 e $D_{jt} = 0$, caso contrário, $j = 1, \dots, 11$.

3.7 Modelos de Suavização Exponencial

A técnica de suavização assume que os valores extremos da série representam a aleatoriedade e por meio da suavização desses extremos pode-se identificar o padrão básico. Uma das grandes vantagens desse método é a simplicidade, a eficiência computacional e a sua boa precisão. Os modelos de suavização exponencial abordados são para séries que apresentam tendência e para séries que apresentam sazonalidade (Moretin e Tolo, 2006).

3.7.1 Suavização Exponencial de Host (SEH)

Considera-se, agora o caso de uma série temporal não sazonal, que é composta localmente da soma de nível, tendência e resíduo aleatório com média zero e variância constante (σ^2), isto é,

$$Z_t = \mu_t + T_t + a_t, \quad t = 1, \dots, N. \quad (3.28)$$

Este método é utilizado quando a série apresenta tendência, mas não apresenta sazonalidade. Este modelo é uma “correção” do modelo de suavização exponencial e pode ser descrito pelo conjunto de equações dadas por

$$\bar{Z}_t = AZ_t + (1 - A)(\bar{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}), \quad 0 < A < 1 \text{ e } t = 2, \dots, N, \quad (3.29)$$

$$\hat{T}_t = C(\bar{Z}_t - \bar{Z}_{t-1}) + (1 - C)\hat{T}_{t-1}, \quad 0 < C < 1 \text{ e } t = 2, \dots, N, \quad (3.30)$$

onde A e C são as constantes de suavização. A previsão para o valor Z_{t+h} , com origem em t é dada por

$$\hat{Z}_t(h) = \bar{Z}_t + h\hat{T}_t, \quad \forall h > 0, \quad (3.31)$$

ou seja, a previsão é feita adicionando-se ao valor básico ($\bar{Z}_t$) a tendência multiplicada pelo número de passos à frente que se deseja prever (h).

3.7.2 Suavização Exponencial Sazonal de Holt - Winters (HW)

Para séries temporais que apresentam um padrão de comportamento mais complexo, existem outras formas de suavização, tais como os métodos de Holt-Winters e o método de suavização exponencial.

Existem dois tipos de procedimentos cuja utilização depende das características da série considerada. Tais procedimentos são baseados em três equações com constantes de suavização diferentes, que são associadas a cada uma das componentes do padrão da série: nível, tendência e sazonalidade.

1) Série Sazonal Multiplicativa

Considere uma série sazonal com período s . A variante mais usual do método HW considera o fator sazonal F_t como sendo multiplicativo, enquanto a tendência permanece aditiva, isto é,

$$Z_t = \mu_t + T_t + a_t, \quad t = 1, \dots, N. \quad (3.32)$$

As três equações de suavização são dadas por

$$\hat{F}_t = D \left(\frac{Z_t}{\bar{Z}_t} \right) + (1 - D)\hat{F}_{t-s}, \quad 0 < D < 1 \text{ e } t = s+1, \dots, N, \quad (3.33)$$

$$\bar{Z}_t = A \left(\frac{Z_t}{\hat{F}_{t-s}} \right) + (1 - A)(\hat{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}), \quad 0 < A < 1 \text{ e } t = s+1, \dots, N, \quad (3.34)$$

$$\hat{T}_t = C(\bar{Z}_t - \bar{Z}_{t-1}) + (1 - C)\hat{T}_{t-1}, \quad 0 < C < 1 \text{ e } t = s+1, \dots, N, \quad (3.35)$$

e representam estimativas do fator sazonal, do nível e da tendência, respectivamente. Onde, A , C e D são as constantes de suavização.

As previsões dos valores futuros da série são dadas por

$$\hat{Z}_t(h) = (\bar{Z}_t + h\hat{T}_t)\hat{F}_{t+h-s} \quad h = 1, 2, \dots, s, \quad (3.36)$$

$$\hat{Z}_t(h) = (\bar{Z}_t + h\hat{T}_t)\hat{F}_{t+h-2s} \quad h = s+1, 2, \dots, 2s, \quad (3.37)$$

$\vdots$

$$\hat{Z}_t(h) = (\bar{Z}_t + h\hat{T}_t)\hat{F}_{t+h-ns} \quad h = s+1, 2, \dots, ns, \quad (3.38)$$

2) Série Sazonal Aditiva

O procedimento anterior pode ser modificado para tratar com situações onde o fator sazonal é aditivo, isto é

$$Z_t = \mu_t + T_t + F_t + a_t \quad (3.39)$$

As estimativas do fator sazonal, nível e tendência da série são dadas por

$$\hat{F}_t = D(Z_t - \bar{Z}_t) + (1 - D)\hat{F}_{t-s}, \quad 0 < D < 1, \quad (3.40)$$

$$\bar{Z}_t = A(Z_t - \hat{F}_{t-s}) + (1 - A)(\bar{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}), \quad 0 < A < 1, \quad (3.41)$$

e

$$\hat{T}_t = C(\bar{Z}_t - \bar{Z}_{t-1}) + (1 - C)\hat{T}_{t-1}, \quad 0 < C < 1, \quad (3.42)$$

respectivamente. Onde, A , C e D são as constantes de suavização.

As previsões dos valores futuros da série são obtidas a partir de

$$\hat{Z}_t(h) = \bar{Z}_t + h\hat{T}_t + \hat{F}_{t+h-s}, \quad h = 1, 2, \dots, s \quad (3.43)$$

e

$$\hat{Z}_t(h) = \bar{Z}_t + h\hat{T}_t + \hat{F}_{t+h-2s}, \quad h = s+1, \dots, 2s \quad (3.44)$$

3.7.3 Medidas de Precisão dos Métodos de Previsão e Desempenho

Existem vários tipos de medidas do erro de previsão que podem mensurar os desvios entre os valores previstos $\hat{y}_i$ e os observados y_i , onde $\hat{y}_i$ é o valor previsto para o instante i , e y_i é o valor da observação no instante i ; e n o número de observações. As principais medidas de precisão são

i) Erro Médio Absoluto (*MAD*), dado por

$$MAD = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{n}. \quad (3.45)$$

ii) O Erro Quadrático Médio (*MSD*), dado por

$$MSD = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}. \quad (3.46)$$

iii) Erro Absoluto Percentual Médio (*MAPE*), dado por

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \frac{|(y_i - \hat{y}_i)/y_t|}{n} \times 100. \quad (3.47)$$

Quanto menor for o erro, melhor estará ajustado o modelo à série. O *MSD* é geralmente o mais utilizado, pois penaliza desproporcionalmente os grandes erros, sejam positivos ou negativos.

Neste capítulo foram apresentadas as metodologias de modelagem estatística desenvolvidas para o monitoramento de doenças de notificação compulsória. Para tanto, foi realizada uma descrição geral de gráficos de controle e de alguns gráficos específicos, como o gráfico de controle de regressão e o gráfico de controle para observações individuais. Também se apresentou a técnica estatística de séries temporais, onde são introduzidos os conceitos principais e a forma de obtenção de previsão, além da classificação e descrição dos métodos de decomposição e de suavização exponencial. E finalmente foi descrita a metodologia proposta, que consiste, considerando a particularidade de cada série em estudo, numa determinada combinação das técnicas estatísticas descritas. No Capítulo 4, a metodologia proposta é testada nas seguintes doenças: Tuberculose, Leptospirose e Meningite Bacteriana.

Capítulo 4

Metodologia Proposta para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória

Neste capítulo os métodos de Controle Estatístico de Qualidade, Análise de Séries Temporais e Análise de Regressão, descritos no Capítulo 3, são combinados para construir uma metodologia para o monitoramento de doenças de notificação compulsória. A metodologia proposta considera a particularidade de cada série em estudo, numa combinação das técnicas estatísticas aqui mencionadas.

4.1 Introdução

A tendência e a sazonalidade são características freqüentes, que ocorrem simultaneamente ou não, em séries de doenças de notificação compulsória. A ocorrência da tendência crescente é observada em situações de uma doença emergente que não tem mecanismos de prevenção e controle eficiente. A tendência decrescente se configura em doenças que tem mecanismos de prevenção e controle eficiente e que futuramente serão erradicadas. A sazonalidade se apresenta em doenças que têm aumento na incidência em alguns períodos do ano, que pode estar relacionado com índice pluviométrico, taxa de umidade, etc.

Para que o monitoramento de doenças seja mais efetivo é necessário estabelecer limites de controle, ou nível endêmico, para que se tenham parâmetros de avaliação que permitam priorizar medidas de prevenção e controle, além da detecção precoce de surtos.

O detalhamento da metodologia proposta pode ser visto na Figura 4.1.

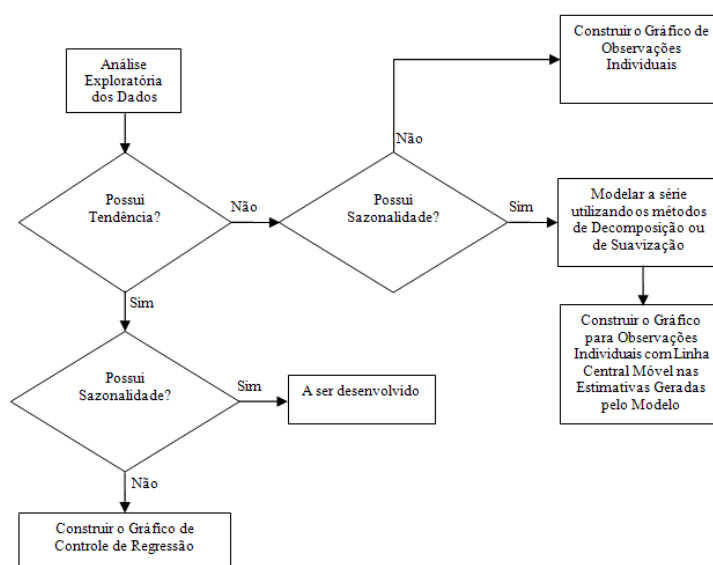


Figura 4.1 *Fluxo da Metodologia de Modelagem Estatística para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória.*

Na Figura 4.1 pode-se observar que a primeira etapa da metodologia proposta consiste em realizar a Análise Exploratória dos Dados. O objetivo inicial é a identificação da presença ou não de tendência e/ou sazonalidade. Para tanto, gráficos para as séries doenças de notificação compulsória em estudo são construídos e analisados. Além disso, é fundamental a comparação das características identificadas na série e as características epidemiológicas da doença, para identificar possíveis causas assinaláveis.

4.2 Passos para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória

4.2.1 Análise Exploratória de Dados

- a) Avaliar graficamente a existência de possíveis *outliers*, caso positivo, deve-se investigar se estes são devidos a causas comuns ao processo, em caso contrário, deve-se eliminá-los da série.
- b) Avaliar a série da doença quanto a presença de tendência e/ou sazonalidade e, comparar com as características epidemiológicas da doença, quanto a tendência e sazonalidade.

4.2.2 Método 1 - Para Séries que Não Possuem Tendência e Nem Sazonalidade

Caso a série em estudo não apresente sazonalidade e nem tendência, deve-se:

- a) Verificar as condições de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e as condições de independência pelo coeficiente de autocorrelação, descrito na subseção 3.5.1.
- b) Se as condições de normalidade e independência foram obedecidas, construir o gráfico de controle para observações individuais, descrito na Seção 3.2.

Para aplicação do gráfico de controle para observações individuais deve-se verificar, primeiramente, se a variabilidade da série está sob controle estatístico.

- a) Construir o gráfico de controle para amplitude móvel, descrito na Seção 3.2, se a variabilidade dos dados não está sob controle estatístico, ou seja, se algum ponto está fora dos limites de controle, verificar se é devido a causas comuns ao processo, caso contrário eliminar estes pontos da série. Este procedimento deverá ser repetido até que nenhum ponto fique fora dos limites de controle.

- b) “Plotar” o gráfico de observações individuais, de acordo com as equações 3.3.

4.2.3 Método 2 - Para Séries que Não Possuem Tendência e Possuem Sazonalidade

Caso a série em estudo apresente sazonalidade, deve-se:

- a) Verificar as condições de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e as condições de independência pelo coeficiente de autocorrelação, descrito na subseção 3.5.1.
- b) Se as condições de normalidade e independência foram obedecidas, modelar a série pelo modelo de decomposição ou pelo modelo de suavização de Holt-Winters, descritos nas Seções 3.6 e 3.7, respectivamente. A escolha do melhor modelo será o que tiver menor erro médio quadrático (MSD), descrito na subseção 3.6.3.
- c) Gerar a linha central do gráfico de controle obtida a partir das estimativas do modelo de séries temporais escolhido.
- d) Calcular os limites de controle superior e inferior pelas Equações 3.3. Fixa-se um nível de confiança (k), por exemplo, 2, o que garante limites mais estreitos, com maior probabilidade na identificação de surtos;
- e) “Plotar” os limites de controle, obtendo-se assim o gráfico de controle de observações individuais com linha central móvel.

4.2.4 Método 3 - Para Séries que Possuem Tendência e Não Possuem Sazonalidade

Caso a série em estudo apresente tendência deve-se:

- a) Verificar as condições de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, descrito na subseção 3.5.1.

- b) Identificar a reta de regressão que melhor se adapta aos dados, a escolha da reta é baseada na análise dos resíduos padronizados.
- c) Gerar a linha central do gráfico de controle a partir da reta de regressão escolhida.
- d) Calcular os limites de controle superior e inferior de controle utilizando as equações 3.5 e 3.11
- e) “Plotar” os limites de controle, obtendo-se assim o gráfico de controle de regressão.

Nos três métodos propostos admitiu-se que pontos acima do limite superior poderia ser considerado um possível surto da doença e pontos abaixo do limite inferior, se não houve no período nenhuma ação de prevenção e controle que justifique a diminuição de casos, deduziu-se que houve subnotificação de casos.

Vale ressaltar que após o desenvolvimento de cada ferramenta propostas num dos três métodos, deve-se ser realizada a análise do comportamento estatístico da série em estudo em função da ferramenta aplicada e, então, inferências devem ser feitas. Por exemplo, conforme descrito na subseção 3.1.1, quando gráficos de controle são utilizados para o monitoramento das séries estatísticas, deve-se verificar que, se um ponto estiver fora dos limites de controle, o processo está fora de controle estatístico, sendo necessária uma investigação para identificação das causas atribuíveis responsáveis por esse comportamento.

Neste capítulo foi descrita a metodologia proposta, que consiste, considerando a particularidade de cada série em estudo, numa determinada combinação das técnicas estatísticas mencionadas. No Capítulo 5, a metodologia proposta é testada nas seguintes doenças: Tuberculose, Leptospirose e Meningite Bacteriana.

Capítulo 5

Metodologias de Modelagem Estatística para o Monitoramento de Doenças de Notificação Compulsória

Neste capítulo, a metodologia proposta de modelagem estatística para o monitoramento de doenças de notificação compulsória, apresentada no Capítulo 4 são aplicadas as séries de dados de doenças, com o objetivo de estabelecer limites de controle estatístico, e obtenção de um monitoramento mais eficaz dessas doenças.

5.1 Introdução

De acordo com Sanches (2000), o monitoramento do número de casos notificados de determinada doença é considerado “sob controle estatístico” se está dentro de um intervalo de variação pré-fixado.

A partir da identificação dos limites de controle, ou seja, do intervalo de variação, é possível identificar o número esperado de notificações no município e realizar um monitoramento mais efetivo das notificações. Quando o número de notificações for maior que o limite superior de controle, demonstra que as medidas preventivas de saúde não estão funcionando e que a população está adoecendo mais do que devia. Neste caso, deve ser implementado ações de prevenção o mais rápido possível. Quando o número de notificações for menor que o limite de controle inferior, se não houve nenhuma ação de prevenção

que justifique esta diminuição, significa que as notificações não estão sendo realizadas, ou porque o diagnóstico não está sendo realizado. Isto pode contribuir para uma disseminação maior da doença e aumento na letalidade, pois os profissionais de saúde não estão notificando, o que gera prejuízo na avaliação de saúde do município.

Para aplicação das metodologias propostas neste trabalho, utilizam-se as notificações realizadas no período de 2001 a 2006 de pacientes residentes no município de Belém das que tiveram as seguintes doenças: Tuberculose, Leptospirose e Meningite Bacteriana. Os dados utilizados foram coletados da base de dados do Sistema Informação de Notificação de Agravos (SINAN) do Ministério da Saúde. Optou-se em dividir as doenças em três grupos: (1) doenças que não apresentam tendência e nem sazonalidade; (2) doenças que não apresentam tendência e apresentam sazonalidade e (3) doenças que apresentam tendência e não apresentam sazonalidade.

5.2 Metodologia de Monitoramento de Doenças que Não Apresentam Tendência e Nem Sazonalidade

5.2.1 Análise Exploratória dos Dados da Série de Tuberculose

A Figura 5.1 apresenta o número de casos notificados por tuberculose em Belém/PA, no período de 2001 a 2006. Observa-se que a série possui menor variação nos anos de 2001 a 2003, a partir de 2003, o seu comportamento fica mais irregular. Esta série não apresenta nenhuma tendência crescente ou decrescente, mostrando - se estável no período.

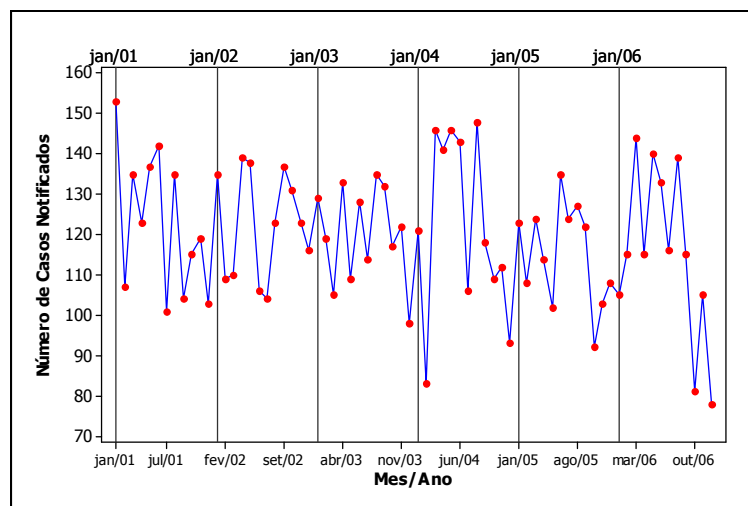


Figura 5.1 Número de Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.

De acordo com Montgomery (2004), para aplicação dos gráficos de controle na série em estudo é necessário verificar a normalidade e a autocorrelação dos dados. A Figura 5.2 apresenta o gráfico de probabilidades normais e as estatísticas resultantes do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, aplicado à série de casos notificados por tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006. Pode-se verificar que a série em estudo apresenta normalidade, pois, o nível descritivo (p) $\geq 0,15$.

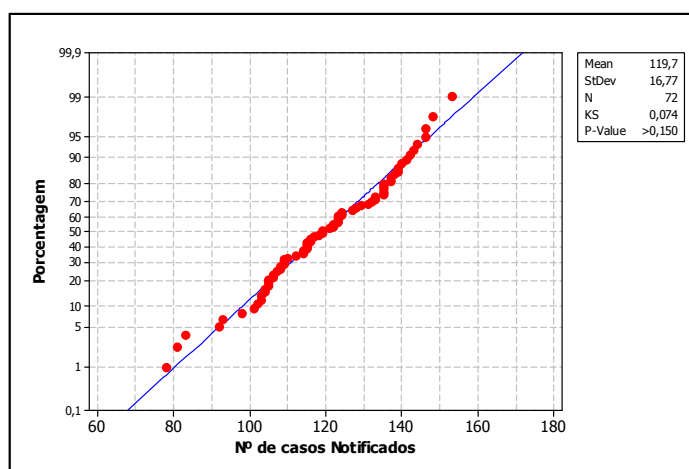


Figura 5.2 Gráfico de Probabilidades Normais e Estatísticas Resultantes do Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, Aplicado ao Número de Notificações por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.3 apresenta o correlograma do número de casos notificados por tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006. Nela, verifica-se que apenas o *lag* (autocorrelação entre duas observações consecutivas) 6 apresenta correlação, não caracterizando uma série autocorrelacionada.

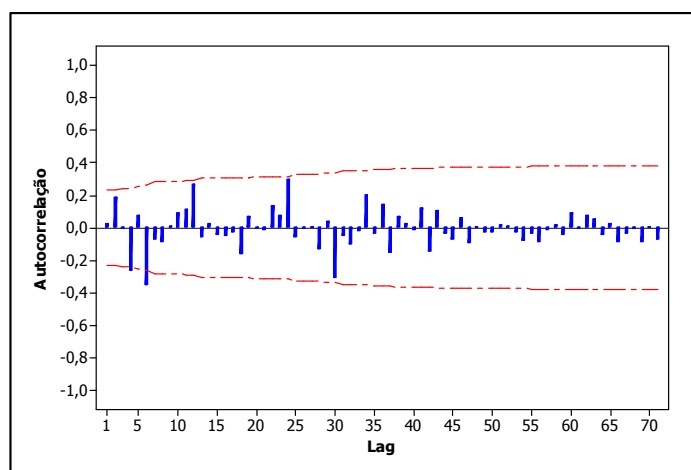


Figura 5.3 Correlograma dos Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.4 apresenta a análise gráfica da sazonalidade do número de casos notificados por tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006. Nela, verifica-se que o número de casos notificados nos meses de fevereiro, julho e dezembro são bem menores que nos outros meses. Esses meses se caracterizam por férias escolares (julho) e por feriados longos (carnaval e natal) e que tradicionalmente ocorre diminuição no atendimento de pacientes em serviços de saúde. Acredita-se, portanto, que a sazonalidade apresentada pela série constitui-se uma dificuldade do sistema de notificação e não uma característica da incidência da tuberculose, pois segundo o Ministério da Saúde (Brasil, 2005) a tuberculose não possui característica de sazonalidade. Assim, para aplicação do gráfico de controle é ignorada a característica de sazonalidade por não ser uma característica epidemiológica da doença.

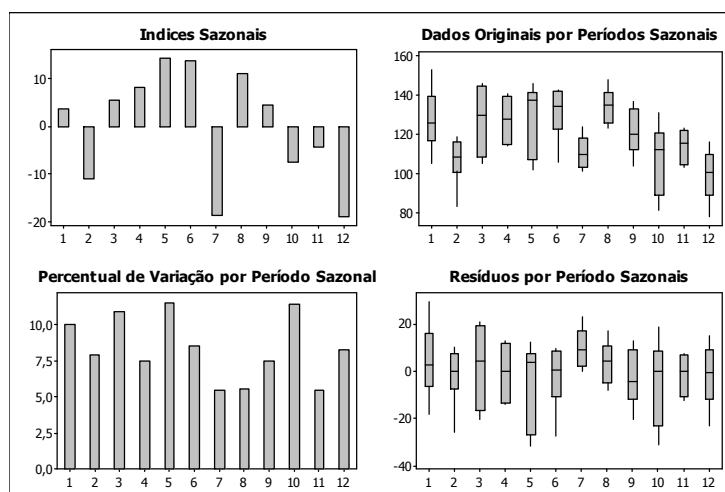


Figura 5.4 *Análise Gráfica da Sazonalidade do Número de Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.*

5.2.2 Gráfico de Controle para Observações Individuais Aplicado a Série de Tuberculose

A Figura 5.5 apresenta o gráfico de controle de Amplitude Móvel para o número de casos notificados por tuberculose no município de Belém/PA, no período de 2001 a 2006. Nota-se, um ponto fora dos limites de controle, que corresponde a diferença de notificações de tuberculose entre o mês de fevereiro e março de 2004. Pode-se inferir que a causa desta diferença tão acentuada seja devido a diminuição de notificações no mês de fevereiro de 2004, período de carnaval, e um aumento de notificações no mês de março, em consequência da não notificação do mês anterior, ou seja, uma transferência de casos de um mês para o outro. Observa-se também que existem sete pontos abaixo da linha central, referente ao período de setembro de 2002 a janeiro de 2003. Segundo Montgomery (2004), a ocorrência de até sete pontos consecutivos de um mesmo lado da linha média é considerado sob controle estatístico.

De acordo com Montgomery (2004), quando é identificada uma causa atribuível em relação ao ponto fora de controle estatístico, deve-se retirar este ponto para que não comprometa as próximas análises.

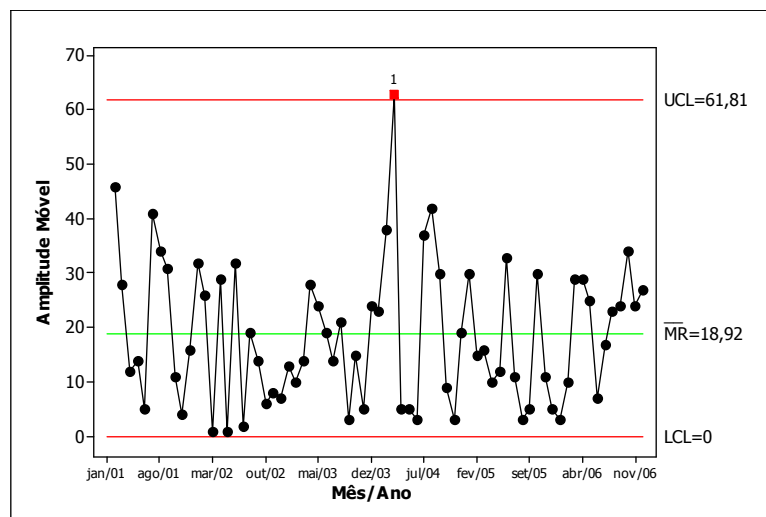


Figura 5.5 Gráfico de Controle de Amplitude Móvel para os Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.6 apresenta o gráfico de controle de observações individuais dos casos notificados por tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006, excluindo-se o mês de fevereiro de 2004. Nota-se que com a retirada do mês de fevereiro de 2004 não existem mais nenhum ponto fora de controle estatístico, até com limites de controle 2σ .

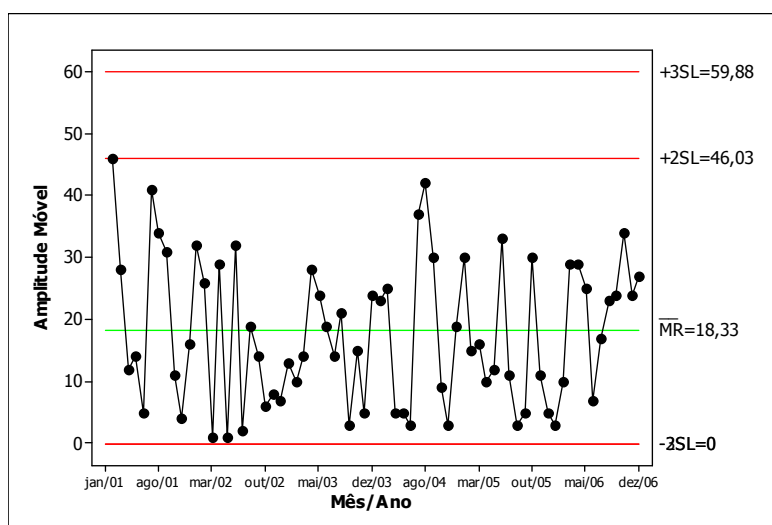


Figura 5.6 Gráfico de Controle de Amplitude Móvel dos Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006 - sem a Observação Referente ao mês de Fevereiro/2004.

A Figura 5.7 apresenta o gráfico de controle para observações individuais dos casos notificados por tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006. Nota-se, utilizando os limites de 3σ , que as notificações estão sob controle estatístico, percebe-se, também, uma diminuição de notificações nos meses de grandes feriados e um aumento de notificações nos meses seguintes. Quando se utilizam limites de controle 2σ , três pontos indicam situação de “fora de controle estatístico”, janeiro de 2001 e outubro e dezembro de 2004, observa-se que este comportamento de diminuição de notificações em feriados se apresenta desde 2003.

A tuberculose é uma doença contagiosa e, quando um paciente deixa de ser tratado no período devido, além de agravar a situação de saúde do paciente, ele estará transmitindo a doença a mais pessoas. Portanto, não é uma simples transferência de data de notificação, mas um fator gerador de aumento de casos da doença. Assim, o monitoramento pelo gráfico de controle aponta que os meses de grandes feriados são meses críticos para a vigilância de tuberculose.

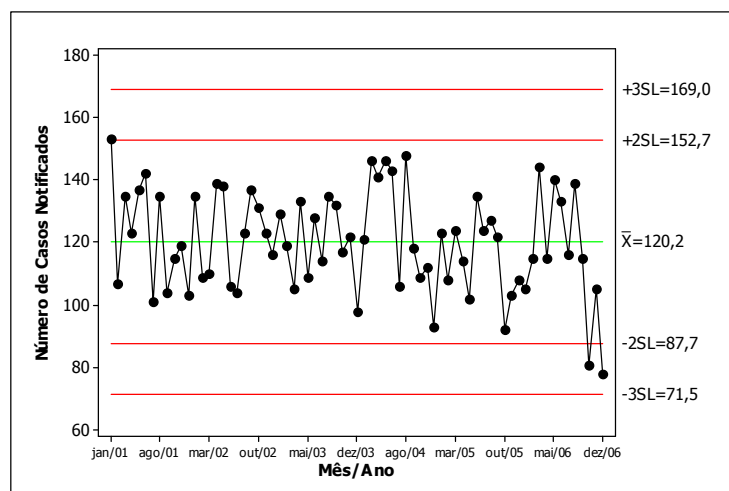


Figura 5.7 Gráfico de Controle de Observações Individuais para os Casos Notificados por Tuberculose em Belém/PA - 2001 a 2006.

A metodologia de monitoramento de doenças que não apresentam tendência e nem sazonalidade desenvolvida neste trabalho se mostrou muito eficaz pois, além da facilidade de operacionalização e análise, permite estabelecer o nível

endêmico (limites de controle) para as doenças, facilitando o controle pelos gestores de saúde destes tipos de doenças.

5.3 Metodologia de Monitoramento de Doenças que Não Apresentam Tendência e Apresentam Sazonalidade

5.3.1 Análise Exploratória de Dados de Leptospirose

A Figura 5.8 apresenta o gráfico do número de casos notificados por Leptospirose no município de Belém/PA - 2001 a 2006. Nela, observa-se a presença de sazonalidade, caracterizado pelo aumento de casos nos meses de maior incidência de chuva, janeiro a abril, e diminuição de casos nos meses de julho a dezembro. Além disso, não se verifica indícios de tendência crescente ou decrescente.

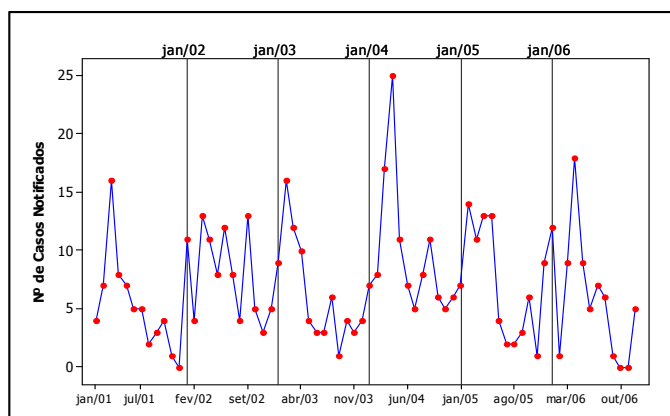


Figura 5.8 Número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.9 apresenta o gráfico Box-Plot do número de casos notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006. Verifica-se a ocorrência de um *outlier* (valor discrepante) referente ao mês de março/2004, isto significa que neste mês houve um aumento no número de notificações em relação aos outros meses anteriores da série estudada. Para que as análises a serem realizadas não sejam influenciadas por este *outlier*, esta observação foi excluída da base de dados.

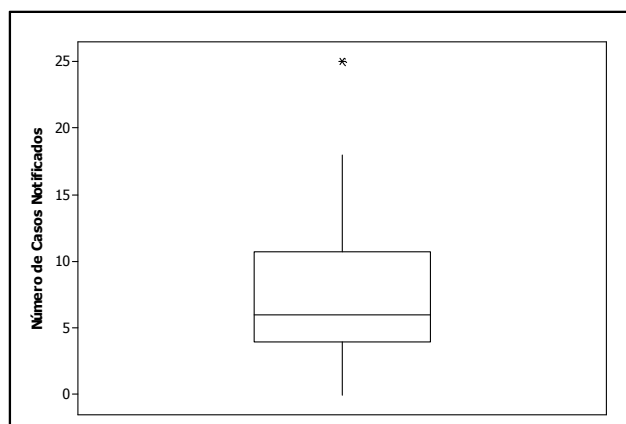


Figura 5.9 Gráfico Box-Plot do Número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.10 apresenta o gráfico de probabilidades normais e as estatísticas resultantes do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, aplicado ao número de casos notificados por leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006. Pode-se verificar que a série em estudo apresenta normalidade, pois, o nível descritivo (p) $> 0,15$.

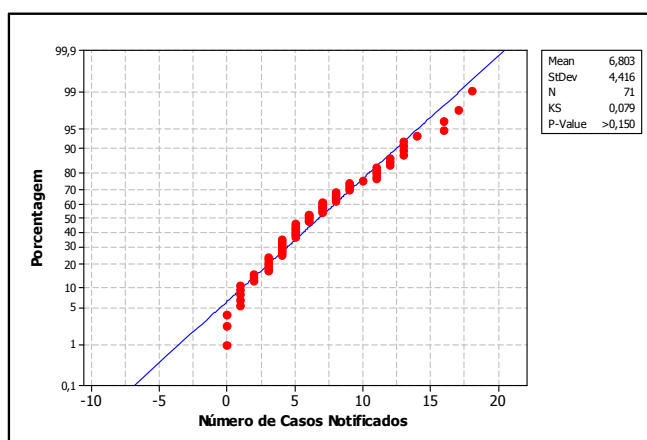


Figura 5.10 Gráfico de Probabilidades Normais e Estatísticas Resultantes do Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, Aplicado ao número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.11 apresenta o correlograma do número de casos notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006. Observa-se claramente o aspecto

sazonal da série, verifica-se, também, decaimento para zero dos coeficientes de correlação, demonstrando a estacionariedade da série. Apenas o *lag* 1 apresenta ausência de autocorrelação, caracterizando uma série livre de autocorrelação.

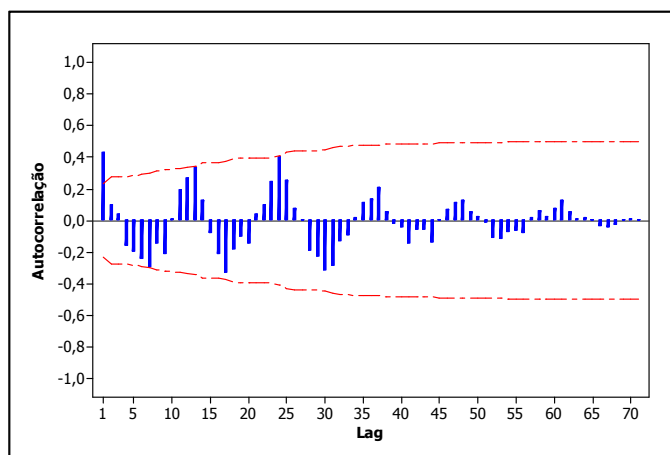


Figura 5.11 Correlograma do Número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.12 apresenta a análise gráfica da sazonalidade do número de casos notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006. Comprova-se o aumento de casos nos meses de janeiro a abril e diminuição nos meses de maio a dezembro. O mês de março se mostra o mês de maior número de casos.

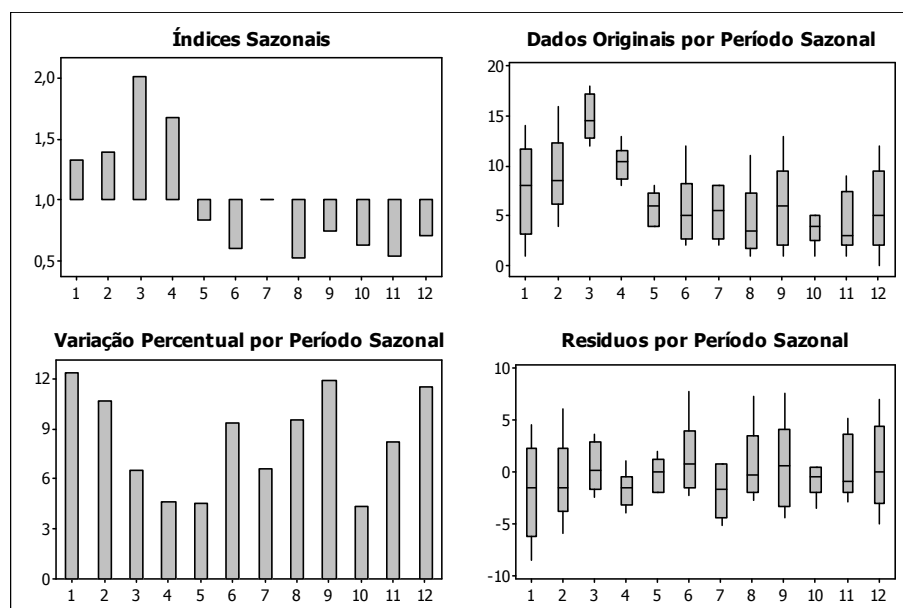


Figura 5.12 *Análise Gráfica da Sazonalidade do Número de Casos Notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.*

Para modelagem da série Leptospirose, utilizou-se duas técnicas de séries temporais: decomposição e suavização exponencial de Holt-Winters, no período de janeiro de 2001 a junho de 2006, e reservado os meses de julho a setembro de 2006 para comparação com o estimado. Após a obtenção das previsões pelos dois métodos, obteve-se erro médio quadrático (MSD) para a escolha do melhor modelo.

A Tabela 5.1 apresenta o número de casos, estimados e observados, pelo método de decomposição e de Holt-Winters das notificações de Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006. Verifica-se que o modelo com menor erro quadrático médio foi de decomposição. A análise realizada para o método de decomposição e de Holt-Winters podem ser vistas nos Anexos C e D.

Tabela 5.1 *Número de Casos Observados e Estimados, pelo Método de Decomposição e de Holt-Winters, das Notificações de Leptospirose em Belém/PA - Julho a Setembro - 2006.*

Casos de Leptospirose	julho/06	agosto/06	setembro/06	MSD
Observados	7	6	1	
Estimados (Decomposição)	4,2	6,9	4	5,9
Estimados (Holt-Winters)	5,7	5,3	6,5	6,4

5.3.2 Gráfico de Controle com Linha Central Móvel Aplicado a Série de Leptospirose

A Figura 5.13 apresenta o gráfico de controle para observações individuais com linha central móvel para o número de casos notificados por Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006. Observa-se que a linha central do gráfico de controle é obtida a partir das estimativas geradas pelo modelo de decomposição ($\hat{Y}$) para a série Leptospirose, dada por

$$\hat{Y} = 6,89 + \sum_{i=1}^{12} \alpha_i, \quad (5.1)$$

onde α_i são as constantes sazonais e os limites de controle obtidos por

$$LSC = \hat{Y} + 2\sigma_e, \quad (5.2)$$

$$LC = \hat{Y}, \quad (5.3)$$

$$LIC = \hat{Y} - 2\sigma_e, \quad (5.4)$$

deixam explícito o comportamento da série Leptospirose ao longo do período em estudo. Nota-se, também, que dois pontos estão acima do limite superior de controle, junho e setembro de 2002, o que caracteriza que nestes meses houve um comportamento anormal, o que sugere a ocorrência de surto de Leptospirose nestes meses.

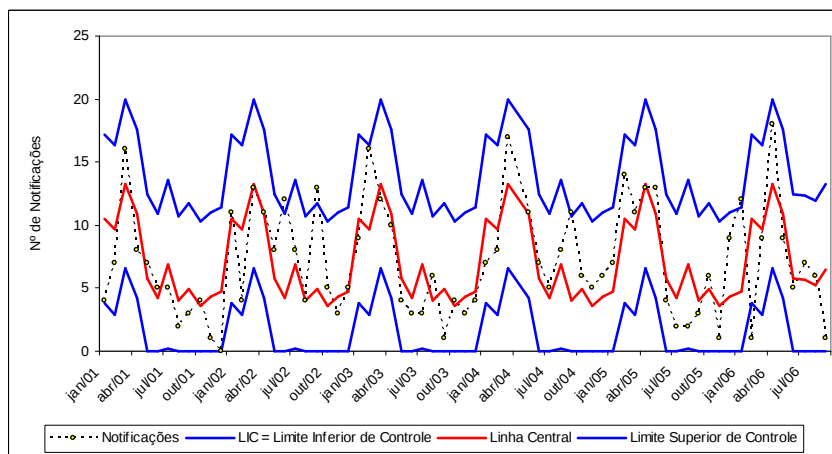


Figura 5.13 Gráfico de Controle para Observações Individuais com Linha Central Móvel das Notificações de Leptospirose em Belém/PA - 2001 a 2006.

Assim, os limites de controle dependem de cada valor Y_i . Esses limites não são valores constantes ao longo do processo, isto é, mudam a cada observação.

O monitoramento dos valores originais facilita a compreensão e a análise dos dados (Moreira Junior, 2005), ou seja, a linha central móvel permite que as características de sazonalidade da Leptospirose sejam levadas em consideração e o monitoramento seja mais efetivo.

A metodologia de monitoramento de doenças que não apresentam tendência e apresentam sazonalidade desenvolvida neste trabalho combina as técnicas estatísticas de séries temporais e controle estatístico da qualidade, permitindo a análise de séries sazonais com maior efetividade, pois, os limites de controle obtidos acompanham com maior exatidão o comportamento da série, facilitando monitoramento destes tipos de doenças.

5.4 Metodologia de Monitoramento de Doenças que Apresentam Tendência e Não Apresentam Sazonalidade

5.4.1 Análise Exploratória dos Dados da Série de Meningite Bacteriana

A Figura 5.14 apresenta o número de casos notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006. Observa-se uma tendência decrescente nos anos de 2001 a 2003 e, a partir do de 2004, uma certa estabilidade. Apesar da Meningite Bacteriana ser epidemiologicamente caracterizada como uma doença sazonal (Brasil, 2005), a série em estudo não apresenta esta característica.

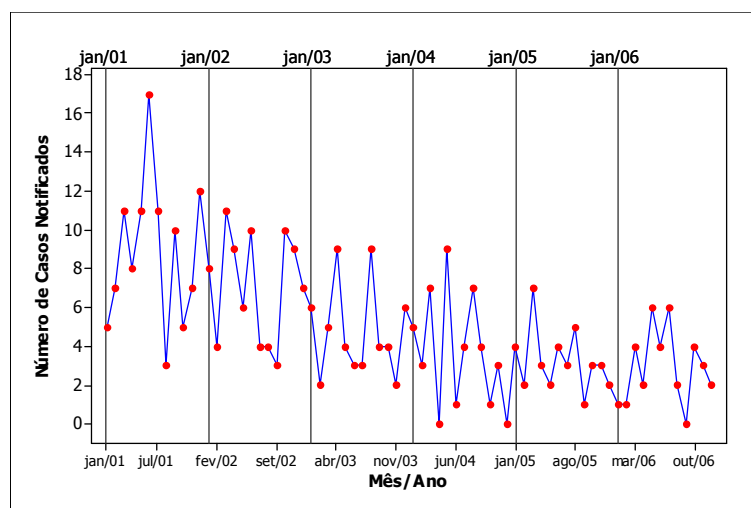


Figura 5.14 *Números de Casos Notificados de Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.*

A Figura 5.15 apresenta o gráfico Box-Plot dos casos notificados de Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2002 a 2006. Verifica-se a ocorrência de um *outlier*, referente ao mês de abril/2004, isto é, neste mês houve um aumento no número de notificações em relação aos outros meses da série em estudo. Para que as análises a serem realizadas não sejam influenciadas por este *outlier*, este mês foi excluído da base de dados.

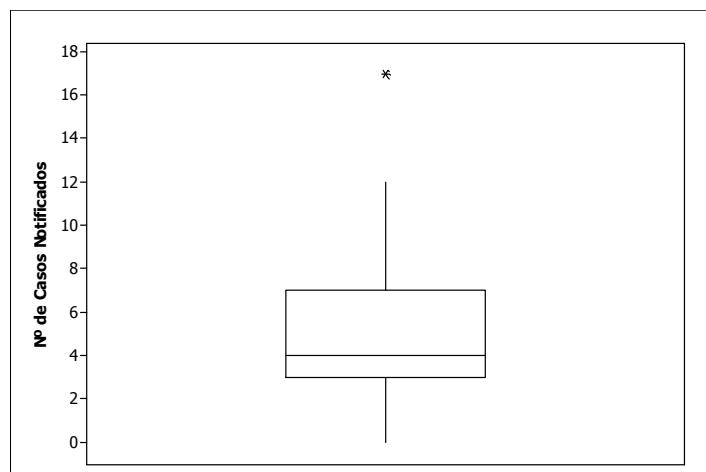


Figura 5.15 Gráfico *Box-Plot* do Número de Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.16 apresenta o gráfico de probabilidades normais e as estatísticas resultantes do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos casos notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006. Pode-se verificar que a série em estudo apresenta normalidade, pois, o nível descritivo (p) $> 0,097$.

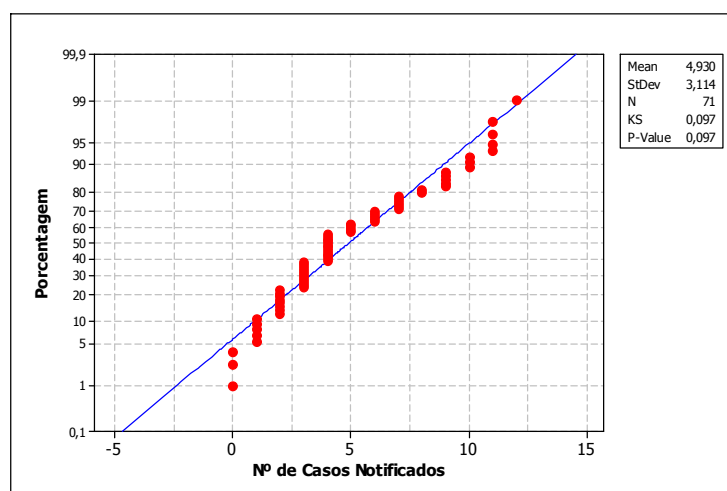


Figura 5.16 Gráfico de Probabilidades Normais e Estatísticas Resultantes do Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, aplicada as Notificações por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.17 apresenta a análise gráfica da sazonalidade dos casos notifica-

dos de Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006. Observa-se que o mês de fevereiro é o mês de maior notificação de meningite e janeiro, o mês de menor incidência. Não foi identificada nenhuma característica que defina a sazonalidade na série.

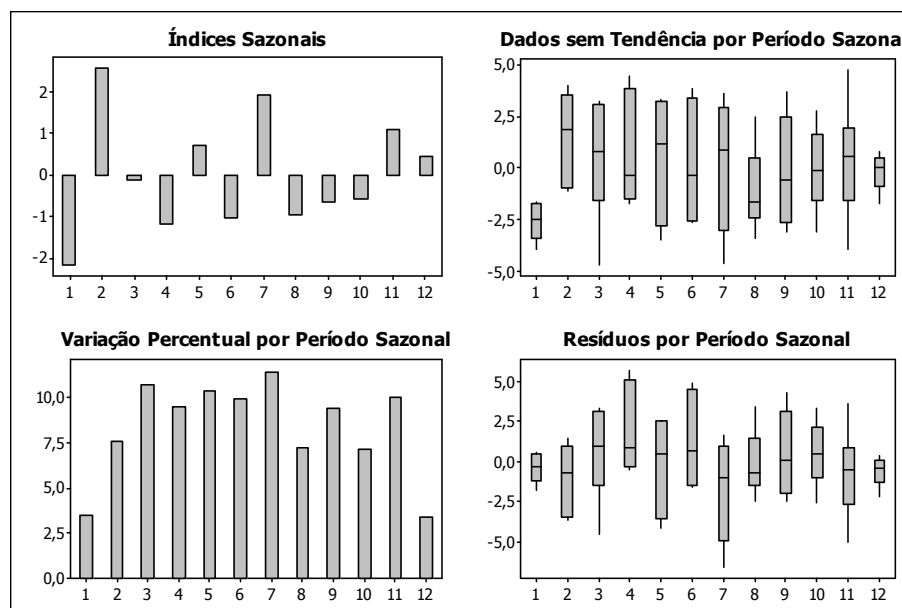


Figura 5.17 *Análise Gráfica da Sazonalidade dos Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.*

5.4.2 Gráfico de Controle de Regressão Aplicado a Série Meningite Bacteriana

Com a presença de tendência decrescente nas notificações de meningite bacteriana, optou-se em utilizar o gráfico de controle de regressão para monitorar o comportamento das notificações. A reta de regressão quadrática que modela a série é

$$Y_t = 9,27 - 0,18t + 0,0012t^2. \quad (5.5)$$

Conforme descrito no Capítulo 3, para verificar a bondade do Modelo em 5.5, é necessário recorrer à análise de resíduos. Assim, a Figura 5.18 mostra a saída gráfica do teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade dos os resíduos obtidos a partir do Modelo 5.5. Nela, pode-se verificar que os resíduos apresentam uma distribuição normal, pois, o nível descritivo $(p) > 0,15$.

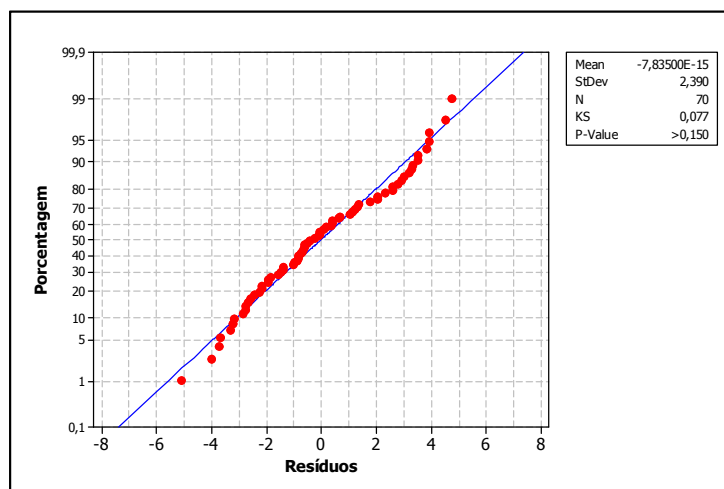


Figura 5.18 Gráfico de Probabilidade Normal para os Resíduos dos Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.

Pela Figura 5.19, que relaciona os valores dos resíduos padronizados com os valores ajustados pelo Modelo 5.5, observa-se que os resultados apresentam uma tendência de aleatoriedade, o que indica homogeneidade das variâncias, contribuindo para a adequação do modelo de regressão aos dados da série número de casos de notificações de Meningite Bacteriana.

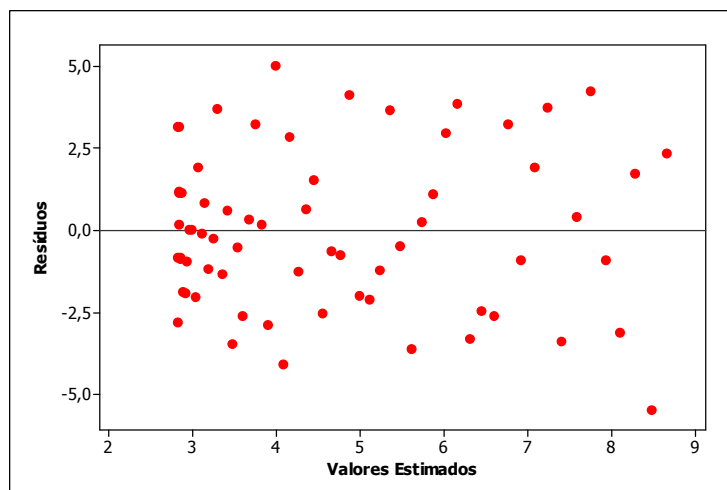


Figura 5.19 Gráfico dos Resíduos versus Valores Estimados para os Resíduos dos Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.

A Figura 5.20 mostra gráfico dos resíduos versus número de casos notifica-

dos por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006. Pode-se ver que a relação entre os resíduos com o número de casos notificados aparenta independência dos dados pela distribuição aleatória destes em torno do zero do eixo da ordenada. Verifica-se também que não há *outliers* entre os resíduos, pois todos apresentam-se dentro da região assimétrica de $(-5; 5)$.

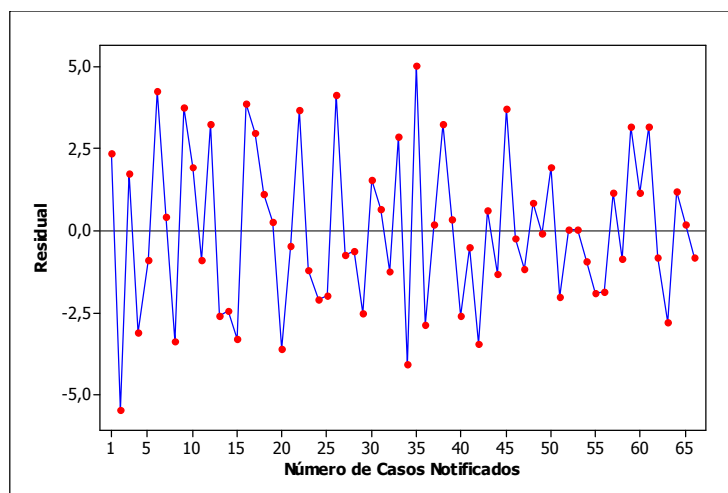


Figura 5.20 Gráfico dos Resíduos versus Número de Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.

Pela análise de resíduos foi verificado que o Modelo 5.5 é adequado para expressar o número de casos notificados de Meningite Bacteriana, em Belém/PA - 2001 a 2006, em função do tempo.

Visando monitorar e controlar o número de casos notificados por Meningite Bacteriana em função do tempo, utiliza-se o Gráfico de Controle de Regressão. Para a construção do Gráfico de Controle de Regressão é necessário, inicialmente, a determinação dos limites superior e inferior de controle e da linha central. Assim, a linha central foi obtida utilizando-se a Equação 3.5 e os limites de controle (superior e inferior) utilizando as Equações 3.11. Para as quais se fez uso da constante de confiança $k = 3$ e do estimador do desvio padrão $S_e = 2,44$, obtido a partir da Equação 3.8.

A Figura 5.21 apresenta o gráfico de controle de regressão do número de casos notificados de Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006. Verifica-se

que as notificações de meningite bacteriana encontram sob controle estatístico, pois segundo Almeida (2003) quando todos os pontos estão na região entre os limites superior e inferior de controle de um gráfico de controle de regressão, estes estão sobre controle estatístico. Além de estarem todos os pontos entre os limites de controle, esses apresentam aleatoriedade na distribuição entre as regiões acima e abaixo da linha central.

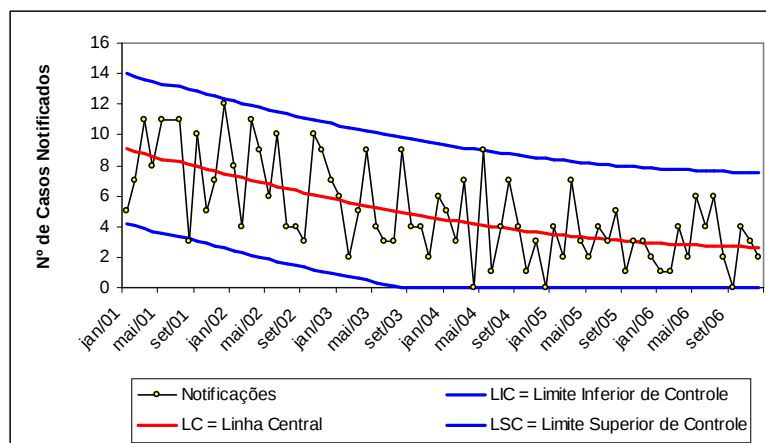


Figura 5.21 *Gráfico de Controle de Regressão do Número de Casos Notificados por Meningite Bacteriana em Belém/PA - 2001 a 2006.*

A metodologia de monitoramento de doenças que apresentam tendência desenvolvida neste trabalho combina as técnicas estatísticas de análise de regressão e controle estatístico da qualidade, permitindo o desenvolvimento do gráfico de controle de regressão, a partir do qual é possível realizar uma análise mais efetiva dos dados que apresentam tendência. Os limites de controle obtidos mostram de forma clara o comportamento da série, facilitando o monitoramento destes tipos de doenças.

Capítulo 6

Considerações Finais e Recomendações

6.1 Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma metodologia de modelagem estatística para o monitoramento de doenças de notificação compulsória. A metodologia proposta combina as técnicas de Controle de Qualidade e de Séries Temporais para monitorar as séries de doenças com características de tendência e sazonalidade.

O estabelecimento de limites de controle (nível endêmico) para as séries de doenças para cada município, dá aos profissionais e aos gestores de saúde condições de monitorar com maior efetividade a situação de saúde da região e indicar a ocorrência de possíveis surtos e epidemias.

A presença de tendência crescente ou decrescente, nas séries de doenças, sempre foi uma dificuldade para estabelecimento de limites de controle. A metodologia proposta neste trabalho para séries na presença desta característica utiliza o gráfico de controle de regressão, uma poderosa ferramenta estatística que possibilita o monitoramento da série em estudo em função do tempo levando em consideração a tendência, possibilitando, desta forma, acompanhar o comportamento da série com mais exatidão.

A metodologia proposta, quando utilizada no monitoramento de doenças que apresentam sazonalidade, combina as técnicas estatísticas de séries temporais e controle estatístico da qualidade, permitindo assim identificar os períodos de

tempo de maior incidência da doença em estudo, facilitando monitoramento e, conseqüentemente, a prevenção de doenças que apresentam esta característica.

Com base na metodologia proposta neste trabalho, foi possível modelar os dados para três grupos de doenças: (1) doenças que não apresentam tendência e nem sazonalidade; (2) doenças que não apresentam tendência e apresentam sazonalidade e (3) doenças que apresentam tendência e não apresentam sazonalidade. Finalmente, o monitoramento contínuo de séries de doenças além de indicar surtos e epidemias, também sinaliza a subnotificação de doenças, o que gera erros na análise da situação de saúde da população.

A detecção precoce de surtos e epidemias não é o objetivo principal do método proposto, mas a sinalização de mudanças de comportamentos que possam contribuir para um agravamento da situação de saúde da região, ou seja, identificar comportamentos diferentes antes que as situações de surtos e epidemias ocorram.

Finalmente, pode-se a partir da metodologia proposta neste trabalho, aplicada a dados reais, ilustrar a potencialidade da combinação das técnicas estatísticas de controle estatístico da qualidade e de séries temporais. Como resultado obteve-se uma poderosa técnica de monitoramento de séries de doenças que apresentam ou não tendência e sazonalidade.

6.2 Recomendações

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Desenvolver metodologia para séries de doenças que apresentem tendência e sazonalidade;
- Propor metodologia para séries de doenças que apresentem baixa frequência;
- Obter o ARL (*Average Run Length*, estatística que define o número de

amostras selecionadas antes de ocorrer um sinal fora dos limites de controle) para os gráficos de controle propostos;

- Georreferenciar séries de doenças de notificação compulsória;
- Desenvolver metodologia de monitoramento de doenças de notificação compulsória baseada em ferramentas estatísticas multivariadas, como por exemplo, análise de componentes principais.

Anexos

Anexo A - Fatores para Construção Gráficos de Controle para Dispersão do Processo.

Fatores para os Limites de Controle				
n	d_3	$\tilde{d}_3$	D_3	D_4
2	0,853	0,45	0,000	3,267
3	0,888	0,435	0,000	2,575
4	0,88	0,445	0,000	2,282
5	0,864	0,457	0,000	2,115
6	0,848	0,468	0,000	2,004
7	0,833	0,477	0,076	1,924
8	0,82	0,487	0,136	1,864
9	0,808	0,495	0,184	1,816
10	0,797	0,503	0,223	1,777
11	0,787	0,509	0,256	1,744
12	0,778	0,515	0,283	1,717
13	0,77	0,521	0,307	1,693
14	0,763	0,527	0,328	1,672
15	0,756	0,532	0,347	1,653
16	0,75	-	0,363	1,637
17	0,744	-	0,378	1,622
18	0,739	-	0,391	1,609
19	0,733	-	0,404	1,596
20	0,729	-	0,415	1,585
21	0,724	-	0,425	1,575
22	0,72	-	0,435	1,565
23	0,716	-	0,443	1,557
24	0,712	-	0,452	1,548
25	0,708	-	0,459	1,541

Fonte: Mittag e Rinne (1993)

Anexo B - Lista Nacional de Doenças e Agravos de Notificação Compulsória, de acordo com a PORTARIA Nº- 5, DE 21 DE FEVEREIRO DE 2006.

I Botulismo

II Carbúnculo ou Antraz

III Cólera

IV Coqueluche

V Dengue

VI Difteria

VII Doença de Creutzfeldt - Jacob

VIII Doenças de Chagas (casos agudos)

IX Doença Meningocócica e outras Meningites

X Esquistossomose (em área não endêmica)

XI Eventos Adversos Pós-Vacinação

XII Febre Amarela

XIII Febre do Nilo Ocidental

XIV Febre Maculosa

XV Febre Tifóide

XVI Hanseníase

XVII Hantavirose

XVIII Hepatites Virais

XIX Infecção pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV) em gestantes e crianças expostas ao risco de transmissão vertical

XX Influenza humana por novo subtipo (pandêmico)

- XXI Leishmaniose Tegumentar Americana
- XXII Leishmaniose Visceral
- XXIII Leptospirose
- XXIV Malária
- XXV Meningite por *Haemophilus influenzae*
- XXVI Peste
- XXVII Poliomielite
- XXVIII Paralisia Flácida Aguda
- XXIX Raiva Humana
- XXX Rubéola
- XXXI Síndrome da Rubéola Congênita
- XXXII Sarampo
- XXXIII Sífilis Congênita
- XXXIV Sífilis em gestante
- XXXV Síndrome da Imunodeficiência Adquirida - AIDS
- XXXVI Síndrome Febril Íctero-hemorrágica Aguda
- XXXVII Síndrome Respiratória Aguda Grave
- XXXVIII Tétano
- XXXIX Tularemia
- XL Tuberculose
- XLI Varíola

Anexo C - Modelagem pelo Método Exponencial Holt-Winters para Leptospirose.

Constantes	Valores
α (Nível)	0,20
γ (Tendência)	0,10
δ (Sazonalidade)	0,01

Medidas	Valores
MAPE	64,93
MAD	2,81
MSD	13,32

Período	Previsão	Inferior*	Superior*
66	5,13366	-1,75738	12,0247
67	4,86621	-2,13279	11,8652
68	4,79792	-2,32145	11,9173

* Limites

Anexo D - Modelagem pelo Método de Decomposição para Leptospirose.

Período	Índice
1	3,58
2	2,72
3	6,37
4	4,04
5	-1,11
6	-2,71
7	-0,01
8	-2,88
9	-1,92
10	-3,30
11	-2,59
12	-2,19

Medidas	Valores
MAPE	66,01
MAD	2,47
MSD	10,92

Período	Previsão
66	4,18
67	6,89
68	4,02

Referências

ALMEIDA, S. S., Desenvolvimento de Gráficos de Controle Aplicados ao Modelo Funcional de Regressão, Tese de Doutorado: UFSC, Florianópolis, 2003.

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

BOX, G. E. P; JENKINS, G.M.; REINSEL, G. C. Times series analysis: forecasting and control, 3 ed. San Francisco: Holden-Day. 1994.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Saúde Brasil 2004 - Uma análise da situação de saúde, Brasília, DF, p. 301-337, 2004.

BROOKMEYER, R.; STROUP, D. F. Monitoring the health of populations: statistical principles e methods for public health surveillance. New York: Oxford University Press; 2004.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. Controle estatístico de qualidade, São Paulo: Atlas S.A., 2004.

COWLING, B. J.; WONG, I. O. L.; HO, L. M.; RILEY, S.; LEUNG, G. M. Methods monitoring influenza surveillance data. International Journal of Epidemiology. v. 35, p. 1314-1321, 2006.

DIPAOLA, P. P. Use of correlation in quality control, Industrial Quality Control, v. 2, n.1, July, p. 10-14, 1945.

FARRINGTON, C. P.; ANDREWS, N. Outbreak detection: application to infectious disease surveillance. In: Monitoring the health of populations: statics

principles e methods for public health surveillance, *p.* 203-230, 2004.

FARRINGTON, C. P.; FARRINGTON C. P.; ANDREWS N. J.; BEALE A. D.; CATCHPOLE M. A. A statistical algorithm for the early detection of outbreaks of infectious disease. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* 159, 547-563, 1996.

FELISBERTO, E. Monitoramento e avaliação na atenção básica: novos horizontes. *Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil, Recife, v. 4, n. 3, p.* 317-321, 2004.

GREEN, M. S.; KAUFMAN, Z. Surveillance for early detection and monitoring of infectious disease outbreaks associated with bioterrorism. *The Israel Medical association Journal: IMAJ, v. 4, p.* 503-506, 2002.

HOFMANN, M. Statistical models for infectious disease surveillance counts. *Dissertation an der Fakultuät für Mathematik, Informatik und Statistik der Ludwig-Maximilians-Universität München.* 2007.

HUTWAGNER, L.; BROWNE, T.; SEEMAN, G. M.; FLEISCHAUER, A. T. Comparing aberratin detection methods with simulated data. *Emerging Infectious Diseases. v. 3, p.* 395-400, 2005.

LAGUARDIA, J.; DOMINGUES, C. M. A.; CARVALHO, C.; LAUERMAN, C. R.; MACÁRIO, E.; GLATT, R. Sistema de Informação de Agravos de notificação em saúde (Sinan): desafios no desenvolvimento de um sistema de informação em saúde. *Epidemiol. Serv. Saúde, v. 13, n. 3, p.* 135-146, 2004.

LESSA, I. Doenças crônicas não transmissíveis no Brasil: um desafio para a complexa tarefa da vigilância. *Ciência e Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p.* 931-944, 2004.

LUNA, E. A Emergência das doenças emergentes e as doenças infecciosas emergentes e reemergentes no Brasil. *Revista Brasileira de Epidemiologia, São Paulo, v. 5, n. 3, p.* 229-243, 2002.

MAKRIDAKIS, Spyros; WHEELWRIGHT, Steven C. Forecasting Methods for Management, 4^a ed. New York, John Wiley e Sons Inc, 1985.

MANDEL, B. J. The regression control chart, *Journal of Quality Technology*, v. 1, n. 1, p. 1-9, January, 1969.

MENDES, A. C. G.; SILVA JUNIOR, J. B.; MEDEIROS, K. R.; LYRA, T. M.; MELO FILHO, D. A.; SÁ, D. A. Avaliação do sistema de informações hospitalares SIH/SUS como fonte complementar na vigilância e monitoramento de doenças de notificação compulsória. *Informe Epidemiológico do SUS, Brasília*, v. 9, n. 2, p. 67-86, 2000.

MITTAG, H. J.; RINNE, H. Statistical Methods of Quality Assurance, London: Chapman & Hall, 1993.

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico de qualidade. 4^a Edição. LTC, 2004.

MOREIRA JUNIOR, F. J. Proposta de um Método para o Controle Estatístico de Processo para Observações Autocorrelacionadas, *Dissertação de Mestrado: UFRGS, Porto Alegre*, 2005.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. Análise de séries temporais. 2^a edição. Edgar Blücher, 2006.

O'BRIEN, S. J.; CHRISTIE, P. Do Cusum have a hole in routine communicable disease surveillance?. *Public Health*, v. 111, p. 255-258, 1997.

PAGE, E. S. Continuous inspection schemes. *Biometrika*, v. 41, p. 100-115, 1954.

PIGNATTI, M. G. Saúde e Ambiente: As doenças emergentes no Brasil. *Ambiente e Sociedade, Campinas*, v. 7, n. 1, p. 133-148, 2004.

SANCHES, O. Princípios básicos de procedimentos estatísticos aplicados na análise de dados de vigilância em saúde pública: uma revisão. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 16, n. 2, p. 317-333, 2000.

SCHRAMM, J. M. A.; OLIVEIRA, A.F.; LEITE, I.C.; VALENTE, J. G.; GADELHA, A. M. J.; PORTELA, M. C.; CAMPOS, M. R. Transição epidemiológica e o estudo de carga de doença no Brasil. *Ciência e Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 897-908, 2004.

SHEWHART, Walter A. *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, Princeton: Van Nostrand Reinhold, 1931.

SILVA, L. J. O controle das endemias no Brasil e sua história. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 55, n. 1, p. 44-47, 2003.

SONESSON, C; BOCK, D. A review and discussion of prospective statistical surveillance in public health. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, v. 166, n. 1, p. 5-21, 2003.

STROUP, D.F.; WILLIAMSON, G.D.; HERNDON J. L. Detection of aberrations in the occurrence of notifiable diseases surveillance data. *Statistics in Medicine*, v. 8, p. 323-329, 1989.

VANBRACKLE, L.; WILLIAMSON, G. D. A study of the average run length characteristics of the national notifiable diseases surveillance system. *Statistics in Medicine*, v. 18, p. 3309-3319, 1999.

WILLIAMSON, G. D.; HUDSON G. W. A monitoring system for detecting aberrations in public health surveillance reports. *Statistics in Medicine*, v. 18, p. 3283-3298, 1999.

WOODALL, W. H., The Use of Control Chart in Health-Care and Public-Health Surveillance. *Journal of Quality Technology*. v. 38, n. 2, p. 89-104, 2006.

ZEGER, S. L. A regression model for time series of counts. *Biometrika*, v. 75, n. 4, p. 621-629, 1988.