



# Controlo de Infeções Hospitalares através de Cartas de Controlo

por

**Miguel Andrade do Vale**

Dissertação de Mestrado em  
Modelação, Análise de Dados e Sistemas de Apoio à Decisão

Orientada por:

Orientação: Prof. Doutora Fernanda Figueiredo

Co-orientação: Prof. Doutora Adelaide Figueiredo

**Faculdade de Economia**  
Universidade do Porto  
2015

Dedico todo este trabalho ao meu Avô Carlos Andrade  
que me ensinou que uma boa educação é a chave  
que mais portas abre na vida

## Nota biográfica

Miguel Andrade do Vale nasceu a 30 de Junho de 1990 no Porto. Frequentou o colégio Luso Francês entre 1993 e 2008 e licenciou-se em Economia pela Faculdade de Economia da Universidade do Porto em 2012, tendo prosseguido no mesmo ano os estudos com a frequência do Mestrado em Modelação, Análise de Dados e Sistemas de Apoio à Decisão, igualmente na Faculdade de Economia da Universidade do Porto.

Completo o curso do *British Council* tendo tido aprovação no exame CPE – *Certificate of Proficiency in English* em 2010.

A principal área de interesse académico e profissional é a gestão da qualidade, inserindo-se a presente dissertação numa filosofia de promoção da melhoria contínua, neste caso na área da saúde.

Iniciou a atividade profissional em 2013 no Gabinete de Melhoria Contínua e Acreditação da Faculdade de Economia do Porto. Em 2014 foi aceite como avaliador-estudante da Agência de Avaliação e Acreditação do Ensino Superior (A3ES), tendo nesse mesmo ano pertencido às Comissões de Avaliação Externa em processos de acreditação de ciclos de estudos na área da Economia na Universidade Católica Portuguesa e na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Paralelamente à vida académica e profissional, a música tem vindo a assumir desde sempre um lugar de destaque na sua vida. Para além de alguns trabalhos mais pontuais no mundo da música, como a participação na iniciativa “À boleia do rock” durante a Queima das Fitas de Coimbra em 2012, e de projetos individuais de menor dimensão, entre 2008 e 2012 foi guitarrista da banda *Stilsent*, e desde 2012 é compositor, vocalista e multi-instrumentalista da banda Nuvem. No início de 2015 lançou ainda o primeiro trabalho do seu projeto a solo intitulado *James Crow*.

Movido pela paixão que tem pela música, tenta constantemente transportar para a sua vida pessoal, académica e profissional, o sentimento de realização de estar a fazer algo em que acredita.

## **Agradecimentos**

Paradoxalmente, uma dissertação é um trabalho muito pessoal mas é apenas com o apoio de terceiros que é possível atingir um nível de qualidade que possa realmente trazer valor acrescentado para a sociedade. Um agradecimento a todos aqueles que tornaram não só este trabalho possível, como também aumentaram a sua qualidade, é assim devido.

À minha Orientadora Professora Fernanda Figueiredo e Co-Orientadora Professora Adelaide Figueiredo por todo o apoio prestado ao longo do tempo, demonstrando sempre extrema disponibilidade e um nível de envolvimento que excedeu todas as minhas expectativas.

A todos os docentes do Mestrado em Modelação, Análise de Dados e Sistemas de Apoio à Decisão da Faculdade de Economia do Porto por me terem apresentado a um admirável mundo novo.

À Professora Corália Vicente por todo o interesse demonstrado sobre o meu trabalho e por me ter encaminhado para trabalhar com as pessoas certas.

Ao Conselho de Administração do Centro Hospitalar do Porto por me ter facultado a possibilidade de trabalhar com uma instituição de tão grande prestígio. Um significativo agradecimento ao Enfermeiro Manuel Valente por todo o apoio e por me ter recebido com tanto entusiasmo.

Um agradecimento a toda a Comissão de Controlo de Infeção (CCI), por ter demonstrado que a instituição mantém um espírito aberto à melhoria contínua. Por fim, um agradecimento especial às supervisoras do núcleo executivo da CCI, nomeadamente à Enfermeira Cristina Alexandra Fernandes e à Enfermeira Paula Rodrigues, por todo o apoio prestado, o qual foi fulcral para a realização da presente dissertação.

Aos meus colegas de trabalho que me incentivaram sempre, e em especial ao meu colega e amigo Miguel Magalhães que foi não só um grande conselheiro como também um extraordinário mentor que incutiu em mim uma verdadeira filosofia da qualidade.

Aos meus colegas de curso e amigos pela força e constante apoio, em especial ao meu grande amigo João Tiago Oliveira que me tem acompanhado ao longo de todos os desafios impostos pelo percurso académico e profissional.

À minha mãe que por sacrifício próprio e altruísmo desmedido me deu a possibilidade de um futuro brilhante: a melhor educação, infância e juventude possíveis, assim como um conjunto de valores que hoje visto com orgulho e eterno agradecimento.

Por fim, à pessoa que me encheu de esperança e força nos últimos anos e que me ensinou acerca da vida e da felicidade todos os dias, à Filipa Silva por toda a paciência e apoio que me deu ao longo desta etapa, assim como em todas.

## Resumo

As infecções hospitalares (nosocomiais) são alvo de grande atenção por parte dos profissionais de saúde. Inúmeros esforços têm sido conduzidos no combate a esta problemática, muitos dos quais com grande sucesso. No entanto, a resistência dos agentes microbianos potencialmente causadores de infecções hospitalares tem vindo a aumentar, podendo agravar a sua proliferação no ambiente hospitalar.

Enquadrado pela necessidade de reforço à vigilância epidemiológica, neste trabalho as cartas de controlo estatístico são propostas como ferramentas úteis para o processo de controlo das infecções hospitalares, possibilitando munir os profissionais de saúde de esquemas estatísticos sensíveis a alterações face à prevalência de microrganismos que podem provocar infeções.

Será dado especial destaque às cartas de controlo “com memória”, nomeadamente cartas de somas acumuladas (CUSUM – *Cumulative Sum*) e cartas de médias móveis ponderadas exponencialmente (EWMA – *Exponentially Weighted Moving Average*) como métodos mais sofisticados que as tradicionais cartas de Shewhart, e com maior potencial na área da saúde, nomeadamente no controlo de infeções hospitalares.

O caso de estudo apresentado neste trabalho incide sobre uma base de dados fornecida pelo serviço de Microbiologia do Centro Hospitalar do Porto, contendo isolamentos microbianos detetados em vários produtos biológicos que são reportados à Comissão de Controlo de Infeção (CCI), sendo posteriormente organizados por serviço clínico e validados, ou não, como infeção hospitalar pela Comissão.

A base de dados será alvo de uma análise preliminar, sendo posteriormente evidenciadas eventuais correlações entre diferentes microrganismos, desenvolvida uma Análise em Componentes Principais e analisada a evolução dos principais agentes microbianos isolados, assim como dos serviços onde o número de isolamentos é maior.

Por fim, a construção de cartas de controlo para alguns cenários distintos procurará validar o interesse e o potencial da utilização destas ferramentas, nomeadamente dos métodos CUSUM e EWMA, na vigilância epidemiológica, explicitando o seu valor acrescentado na garantia de maior segurança e qualidade hospitalar.

## **Abstract**

Hospital-acquired infections are considered an extremely important issue by health professionals. Many efforts addressing this problem have been conducted, in many cases with great success. However, the increasingly resistance of the microbial agents that can potentially cause infections, may contribute to their proliferation.

Framed by the necessity to increase epidemiological surveillance, in this work, control charts will be presented as useful tools in the process of hospital-acquired infections control, providing health professionals statistical schemes with sensitivity to detect changes in the behavior of the existence of microorganisms that might cause infections.

Control charts “with memory” will be emphasized, namely Cumulative Sum – CUSUM charts and Exponentially Weighted Moving Average - EWMA charts, as methods more sophisticated than the traditional Shewhart charts, with more potential in the health field, namely in the process of hospital-acquired infections control.

The case study presented in this work will focus in a database provided by the service of Microbiology of the Porto Hospital Center, containing data about microorganisms isolated in biological cultures, reported to the Infection Control Committee, who afterwards validates or not the microorganisms as hospital-acquired infections.

The database will be subjected to a preliminary statistical analysis, followed by a brief study of the correlation between different microorganisms and a Principal Component Analysis. Furthermore, the evolution of the main microorganisms will also be analyzed, as well as the evolution of the hospital services where the number of microorganisms detected is higher.

Finally, the development of control charts applied to several scenarios will validate the benefits and the potential of these tools, specially CUSUM and EWMA charts in epidemiological surveillance, highlighting its added value in ensuring hospital safety and quality.

# Índice

Nota biográfica.....	ii
Agradecimentos .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras .....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
Capítulo 1 - Introdução e Motivação .....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Controlo estatístico de processos na saúde.....	4
1.3 Noções de microbiologia.....	6
1.3.1 Classificação dos microrganismos.....	8
1.3.2 Características de alguns microrganismos abordados .....	8
1.4 Desenvolvimento da dissertação .....	12
Capítulo 2 - Cartas de Controlo para a monitorização de processos e serviços.....	14
2.1 Introdução.....	14
2.2 Fases de implementação de uma carta de controlo .....	19
2.3 Medidas de desempenho de uma carta de controlo .....	20
2.4 Regras de <i>Runs</i> .....	22
2.5 Cartas de Shewhart.....	27
2.6 Cartas CUSUM e cartas EWMA.....	33
Capítulo 3 - Base de dados: Isolamentos Microbianos .....	39
3.1 Descrição da base de dados .....	39
3.2 Análise preliminar dos dados .....	41
3.3 Análise em Componentes Principais .....	58
3.4 Conclusão .....	78
Capítulo 4 - Evolução dos isolamentos de Microrganismos.....	82
4.1 Evolução por microrganismo .....	85
4.2 Evolução por serviço hospitalar .....	95
4.3 Conclusão .....	99
Capítulo 5 - Construção de cartas de controlo .....	101

5.1 Cartas de controlo com e sem memória .....	102
5.2 Outras cartas .....	113
5.3 Cartas CUSUM para contagens de Poisson .....	118
5.4 Carta EWMA para contagens Poisson .....	129
5.5 Carta CUSUM para o tempo entre eventos .....	132
5.6 Refinamentos às cartas de controlo com diferentes períodos de agregação temporal.....	137
5.7 Conclusão .....	142
Capítulo 6 – Conclusões e trabalhos futuros.....	143
6.1 Conclusões finais.....	143
6.2 Desafios para trabalhos futuros .....	146
Anexos .....	153
A.1 – Anexo Capítulo 3.....	153
A.2 – Anexo Capítulo 4.....	158

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Árvore filogenética da vida .....	7
Figura 1.2 Classificação dos seres vivos.....	7
Figura 2.1 Diagrama de seleção da carta .....	17
Figura 2.2 Representação das zonas .....	25
Figura 3.1 Frequência relativa do número de microrganismos detetados.....	41
Figura 3.2 Diagrama de Pareto – Géneros de microrganismos.....	43
Figura 3.3 <i>Boxplot</i> associado ao género <i>Staphylococcus</i> .....	47
Figura 3.4 <i>Boxplots</i> associados aos principais géneros de microrganismos .....	48
Figura 3.5 Histograma do género <i>Staphylococcus</i> .....	49
Figura 3.6 <i>Boxplots</i> das principais espécies de microrganismos .....	55
Figura 3.7 Gráfico circular da frequência relativa de isolamentos por serviço hospitalar.....	56
Figura 3.8 <i>Boxplots</i> dos serviços hospitalares com mais isolamentos.....	57
Figura 3.9 Diagrama de dispersão das variáveis <i>Pseudomonas</i> e <i>Candida</i> .....	60
Figura 3.10 Representação dos Valores Próprios .....	62
Figura 3.11 Círculo de correlações no plano [1,2].....	66
Figura 3.12 Representação dos serviços hospitalares no plano [1,2].....	67
Figura 3.13 Círculo de correlações no plano [1,3].....	70
Figura 3.14 Representação dos serviços hospitalares no plano [1,3].....	71
Figura 3.15 Círculo de correlações no plano [1,4].....	73
Figura 3.16 Representação dos serviços hospitalares no plano [1,4].....	74
Figura 4.1 Evolução global dos agentes causadores de infeções hospitalares .....	82
Figura 4.2 Evolução do indicador dos géneros .....	84
Figura 4.3 Evolução do indicador das espécies .....	84
Figura 4.4 Evolução do género <i>Staphylococcus</i> .....	86
Figura 4.5 Evolução do género <i>Escherichia</i> .....	87
Figura 4.6 Evolução do género <i>Pseudomonas</i> .....	88
Figura 4.7 Evolução do género <i>Candida</i> .....	89
Figura 4.8 Evolução do género <i>Enterococcus</i> .....	90
Figura 4.9 Evolução do género <i>Klebsiella</i> .....	91
Figura 4.10 Evolução do género <i>Acinetobacter</i> .....	93
Figura 4.11 Evolução do género <i>Proteus</i> .....	93
Figura 4.12 Evolução no Serviço S24.....	95
Figura 4.13 Evolução no Serviço S12.....	95
Figura 4.14 Evolução no Serviço S13.....	96
Figura 4.15 Evolução no Serviço S29.....	96
Figura 4.16 Evolução no Serviço S31.....	96
Figura 4.17 Evolução no Serviço S22.....	97
Figura 4.18 Evolução no Serviço S2.....	97
Figura 4.19 Evolução no Serviço S4.....	97
Figura 5.1: Carta-c de Shewhart para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Proteus</i> com limite superior de controlo 3-sigma .....	103

Figura 5.2 Carta-c de Shewhart para taxa média mensal de microrganismos género <i>Proteus</i> com LC (—) e limites de controlo 3-sigma (- - -), 2-sigma (- • -) e 1-sigma (···).	103
Figura 5.3 Carta CUSUM observacional para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Proteus</i> .	105
Figura 5.4 Carta CUSUM para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Proteus</i> com <i>FIR</i> e <i>reset</i> .	108
Figura 5.5 Carta CUSUM para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Proteus</i> com <i>FIR</i> e sem <i>reset</i> .	109
Figura 5.6 Carta EWMA para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Proteus</i> .	112
Figura 5.7 Carta-c de Shewhart para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Candida</i> .	114
Figura 5.8 Carta CUSUM para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Candida</i> .	114
Figura 5.9 Carta EWMA para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Candida</i> .	115
Figura 5.10 Carta-c de Shewhart para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Staphylococcus</i> .	115
Figura 5.11 Carta CUSUM para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Staphylococcus</i> .	116
Figura 5.12 Carta EWMA para a taxa média mensal de microrganismos do género <i>Staphylococcus</i> .	117
Figura 5.13 Carta-p de Shewhart para a proporção média mensal de <i>Staphylococcus aureus</i> resistentes à meticilina.	118
Figura 5.14 Evolução semanal do género <i>Klebsiella</i> no serviço S12.	125
Figura 5.15 Carta Poisson CUSM para a taxa média semanal de isolamentos do género <i>Klebsiella</i> no serviço S12 ( $K = 1$ ; $H = 3$ ; $ARL_0 = 149$ ).	128
Figura 5.16 Carta Poisson EWMA para a taxa média semanal de microrganismos do género <i>Klebsiella</i> no serviço S12 ( $L=3$ ).	130
Figura 5.17 Carta Poisson EWMA para a taxa média semanal de microrganismos do género <i>Klebsiella</i> no serviço S12 ( $L=2$ ).	131
Figura 5.18 Carta Exponencial CUSUM para a taxa média diária de microrganismos do género <i>Klebsiella</i> no serviço S12 ( $K = 3,67$ ; $H = 7,18$ ; $ARL_0 = 194$ ).	135
Figura 5.19 Carta Exponencial CUSUM para taxa média diária de microrganismos do género <i>Klebsiella</i> no serviço S12. $H$ (- - -): ( $K = 3,67$ ; $H = 6,18$ ; $ARL_0 < 194$ ); $H$ (—): ( $K = 3,67$ ; $H = 7,18$ ; $ARL_0 = 194$ ).	136

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Ilustração de casos práticos associados a diferentes cartas.....	18
Tabela 2.2 Padrões não naturais e sintomas da carta. Fonte: Noskievičová (2013) .....	23
Tabela 2.3 Regras de <i>Runs</i> .....	24
Tabela 2.4 Principais conjuntos de Regras de <i>Runs</i> .....	26
Tabela 3.1 Estatísticas sumárias associadas aos principais géneros de microrganismos..	45
Tabela 3.2 Frequência absoluta, relativa e relativa acumulada de microrganismos por espécie.....	51
Tabela 3.3 Estatísticas sumárias associadas às principais espécies de microrganismos...	54
Tabela 3.4 Matriz de correlações entre os géneros de microrganismos.....	59
Tabela 3.5 Valores próprios, percentagem de inércia explicada e percentagem de inércia acumulada.....	61
Tabela 3.6 Correlações fatores-variáveis e vetores próprios normalizados.....	63
Tabela 3.7 1ª Componente Principal – Géneros de microrganismos.....	64
Tabela 3.8 1º Eixo Principal – Serviços hospitalares.....	64
Tabela 3.9 2ª Componente Principal – Géneros de microrganismos.....	65
Tabela 3.10 2º Eixo Principal – Serviços hospitalares.....	65
Tabela 3.11 Interpretação do plano [1,2].....	68
Tabela 3.12 3ª Componente Principal – Géneros de microrganismos.....	69
Tabela 3.13 3º Eixo Principal – Serviços hospitalares.....	69
Tabela 3.14 Interpretação do plano [1,3].....	72
Tabela 3.15 4ª Componente Principal – Géneros de microrganismos.....	72
Tabela 3.16 4º Eixo Principal – Serviços hospitalares.....	73
Tabela 3.17 Interpretação do plano [1,4].....	75
Tabela 3.18 1ª Componente Principal – géneros de microrganismos (sem S24 e S29) ...	76
Tabela 3.19 1º Eixo Principal – Géneros de microrganismos (sem S24 e S29) .....	76
Tabela 3.20 2ª Componente Principal – géneros de microrganismos (sem S24 e S29) ...	77
Tabela 3.21 2º Eixo Principal – Géneros de microrganismos (sem S24 e S29) .....	77
Tabela 4.1 Quadro resumo da evolução dos géneros de microrganismos .....	94
Tabela 4.2 Quadro resumo da evolução dos isolamentos detetados por serviço hospitalar.....	99
Tabela 5.1: Parâmetros da carta CUSUM da Figura 5.4.....	107
Tabela 5.2 Valores de parametrização da carta EWMA da Figura 5.6.....	111
Tabela 5.3 Dados amostrais para o teste de ajustamento do Qui-Quadrado da variável <i>Klebsiella</i> à distribuição de Poisson.....	122
Tabela 5.4 Valores de ARL para a carta Poisson CUSUM (aumentos na taxa de ocorrências, com FIR). Fonte: Lucas (1985).....	129
Tabela 5.5 Parâmetros da carta Poisson EWMA da Figura 5.16.....	130
Tabela 5.6 Parâmetros da carta Poisson EWMA da Figura 5.17.....	131
Tabela 5.7 Determinação do parâmetro $K_t$ através do rácio $\mu_d/\mu_a$ . Fonte: Lucas (1985).....	133
Tabela 5.8 Valores de ARL para a carta CUSUM para o tempo entre eventos (aumentos na taxa de ocorrências, com FIR). Fonte: Lucas (1985).....	137

# Capítulo 1 - Introdução e Motivação

## 1.1 Introdução

A utilização de cartas de controlo na saúde tem suscitado um grande interesse na área do controlo estatístico da qualidade. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a aplicação de cartas de controlo nas mais variadas áreas da saúde. Assumindo especial destaque, recomenda-se a leitura de Unkel *et al.* (2012), Woodall *et al.* (2011) e Woodall (2006), trabalhos que constituem importantes revisões da literatura sobre a aplicação de cartas de controlo na saúde. De referir ainda o autor Benneyan que desenvolveu inúmeros trabalhos complementados com aplicações práticas, e que surgiu muitas vezes como uma inspiração para o desenvolvimento do presente trabalho, nomeadamente no processo de definição do tema.

Nesta dissertação serão apresentadas e discutidas as cartas de Shewhart, com especial incidência nas cartas por atributos, e posteriormente as cartas *Cumulative Sum* (CUSUM) e *Exponential Weighted Moving Average* (EWMA) como métodos mais sofisticados. Para além de uma revisão bibliográfica sobre as principais cartas de controlo que têm sido utilizadas no controlo da qualidade hospitalar, nomeadamente no controlo de infeções hospitalares, a exposição teórica será complementada por uma componente prática onde se pretende aplicar estas ferramentas estatísticas na deteção e monitorização de microrganismos potencialmente causadores de infeções hospitalares detetados no Centro Hospitalar do Porto entre janeiro de 2010 e março de 2014. De uma forma pragmática, o objetivo do presente trabalho pretende ser a construção de uma ferramenta útil para a Comissão de Controlo de Infeção, que permita a monitorização eficiente da evolução do número de agentes microbianos isolados. Assim sendo, pretende-se evidenciar a importância e o poder das cartas de controlo em melhorar a qualidade do serviço, garantindo em última instância maior segurança e qualidade de saúde para o doente.

Num primeiro momento será apresentada a motivação para o tema e a exposição dos principais desenvolvimentos sobre a aplicação de cartas de controlo na monitorização de

infeções hospitalares, consistindo também na apresentação das principais metodologias que serão usadas.

De acordo com o Programa Nacional de Prevenção e Controlo da Infeção Associada aos Cuidados de Saúde da Direção Geral de Saúde, *“A Infeção Associada aos Cuidados de Saúde (IACS) é uma infeção adquirida pelos doentes em consequência dos cuidados e procedimentos de saúde prestados e que pode, também, afetar os profissionais de saúde durante o exercício da sua actividade.*

*Por vezes, estas infeções são também denominadas de infeções nosocomiais, apesar desta designação não ser inteiramente abrangente por excluir o ambulatório. O conceito de IACS é, por isso, mais abrangente já que se refere a todas as unidades prestadoras de cuidados de saúde, pelo que é importante assegurar a comunicação e a articulação entre as diversas unidades de saúde, para a identificação destas infeções a fim de reduzir o risco de infeção cruzada.”*

Este trabalho incide sobre a problemática das infeções nosocomiais, que continua a constituir um dos problemas mais graves e difíceis de ultrapassar nos hospitais no que se refere à qualidade do serviço. Vários programas com o intuito de promover a segurança do doente e garantir o controlo das infeções têm sido postos em prática com resultados satisfatórios. A Organização Mundial da Saúde tem liderado o processo de estabelecimento de normas e regras a cumprir pelas instituições de saúde, e tem vindo de facto a garantir que os hospitais desenvolvam políticas e práticas coerentes com a garantia da segurança do doente.

Em 2002, reconhecendo a extrema importância de garantir a segurança e o bem-estar dos doentes nas instalações hospitalares, a Organização Mundial da Saúde instigou os países a prestarem grande atenção ao controlo de infeções reforçando medidas de segurança e desenvolvendo sistemas de monitorização apertados. Mais tarde, o programa – *Care Clean is Safer Care* foi lançado no primeiro Desafio Global sobre Segurança do Doente, tendo sido implementado em 2005 e 2006. As principais práticas definidas por este programa incidem sobre os seguintes aspectos: Higiene das mãos; Segurança no contacto com

sangue; Práticas de injeções e imunização; Água, saneamento básico e gestão de resíduos; e Processos clínicos.

No entanto, apesar de todo o esforço que tem sido feito no âmbito do controlo de infeções e de alguns resultados evidenciarem uma melhoria significativa na qualidade do serviço, os valores destas ocorrências continuam a ser preocupantes, e as consequências seriamente graves, comprometendo a saúde do doente. No âmbito do Sistema de Alerta Global e Resposta no Controlo a Epidemias e outras Emergências de Saúde Pública, a Organização Mundial de Saúde afirma que *“Um enorme fosso ainda existe entre o conhecimento acumulado ao longo de décadas e a implementação de práticas de controlo de infeção. Esta diferença é ainda maior em ambientes pobres em recursos, com consequências devastadoras. Falhas nas medidas de controlo de infeções estão a comprometer todos os avanços e investimentos feitos na área da saúde.”*

Existe uma enorme necessidade de desenvolver sistemas mais apertados de controlo de infeções nos hospitais, tirando proveito dos avanços exponenciais na ciência e na tecnologia verificados nos últimos anos, de modo a permitir uma melhoria contínua e significativa na qualidade da saúde que, em última instância, se refletirá numa maior segurança para o doente.

A nível nacional, a Direção-Geral da Saúde (DGS) advertiu a 31 de outubro de 2013 na apresentação do relatório intitulado “Portugal - Controlo da Infeção e Resistência aos Antimicrobianos em números - 2013” que o número de infeções hospitalares é preocupante, existindo evidência estatística que aponta para uma taxa de doentes com infeções hospitalares em Portugal superior à média europeia. Para além dessa constatação, a DGS admitiu ainda que cerca de um terço das infeções detetadas são, certamente, evitáveis. Uma outra conclusão extremamente importante apresentada ainda pela DGS foi a constatação da existência de uma clara relação entre o controlo de infeções e a prevenção da resistência aos antimicrobianos, ou seja, às substâncias que combatem a replicação de microrganismos tais como bacterias, fungos, vírus ou protozoários, matando ou inibindo o seu desenvolvimento. Os avanços na saúde conseguidos pelo uso de antibióticos, que se refletiram num aumento da esperança de vida durante a segunda metade do século XX, encontram-se atualmente em vias de estagnação ou mesmo retrocesso, consequência de um

claro excesso do seu uso. A utilização excessiva de antibióticos tem-se revelado através de uma associação consistente e estatisticamente relevante entre os níveis de consumo de determinadas classes de antibióticos e a resistência a essas classes.

No âmbito do documento “Portugal - Controlo da Infeção e Resistência aos Antimicrobianos em números - 2013”, o “Programa Nacional de Controlo de Infeção” e o “Programa Nacional de Prevenção das Resistências aos Antimicrobianos” foram fundidos, dando lugar a um único programa comum intitulado “Programa de Prevenção e Controlo de Infeção e Resistência aos Antimicrobianos” que se encontra atualmente em vigor. As diretrizes de um plano de combate às infeções hospitalares e à resistência aos antimicrobianos foram assim definidas num único plano, de forma a aumentar a exigência dos planos até então em vigor, considerando agora a problemática de uma forma agregada em vez de fragmentada.

No início do ano de 2015 a fundação Calouste Gulbenkian selecionou doze unidades portuguesas para o projecto “STOP Infeção Hospitalar!” incidindo principalmente sobre pneumonias, infeções associadas a cateteres e a algumas suturas.

Acredito assim estarem criadas as condições tanto em matéria de necessidades reais como de enquadramento institucional para o desenvolvimento de ferramentas estatísticas que, a serem utilizadas em conjunto com os esforços e as normas que estão já a ser postas em prática, venham dar um contributo significativo ao aumento da segurança do doente e, em última instância, à qualidade da saúde nacional.

## **1.2 Controlo estatístico de processos na saúde**

O controlo estatístico de processos, muito utilizado na indústria, serve-se de técnicas que permitem a monitorização de um processo e o controlo do aumento da sua variação devido a causas externas ao próprio processo. Repare-se que o conceito de variação é de extrema importância. É fulcral compreender que um processo irá sempre apresentar alguma variação fruto de causas comuns, sendo que os esforços devem ser dirigidos ao controlo da variação que resulta de causas especiais. Estas deverão ser detetadas e os motivos da sua ocorrência estudados para garantir a criação de um processo estável, sob controlo. Desta forma, o

controle estatístico de processos deve ser construído como um instrumento para a resolução de problemas, devendo estar centrado num eixo assente na seguinte sequência de subprocessos: “Emissão de sinal de fora de controle – Identificação da causa – Implementação de medida corretiva – Verificação dos resultados” (Noskievičová, 2013).

Várias ferramentas foram apresentadas na literatura do controle estatístico de processos: Histogramas, Folhas de Verificação, Cartas de Controle, Diagramas de Pareto, Diagramas de causa-e-efeito (também designado Diagrama Espinha-de-Peixe), Diagramas de Dispersão e Diagramas de Concentração de Defeitos são alguns exemplos de ferramentas comumente utilizadas. De entre todas estas técnicas de controle, as Cartas de Controle criadas por Walter A. Shewhart em 1924, são as ferramentas mais usadas, nomeadamente no controle estatístico de processos.

Inúmeros trabalhos têm sido realizados no âmbito da utilização de cartas de controle estatístico na saúde. Tal como referido em Woodall *et al.* (2011), as cartas de controle são úteis não só para monitorizar um processo caso este esteja a piorar, mas também para verificar se a implementação de determinadas medidas está a melhorar o processo. Benneyan (1998b) apresentou inúmeras aplicações de diferentes cartas de controle no âmbito da saúde. Num dos exemplos, uma carta- $g$ , baseada na distribuição geométrica, é utilizada para monitorizar o número de cirurgias efetuadas entre a ocorrência de infeções. Ainda no mesmo trabalho, é apresentada uma carta- $np$  utilizada para monitorizar o número de defeituosos numa amostra, que neste caso se traduz no número de infeções provocadas por cateteres por mês, e uma carta- $\bar{X}$  de médias amostrais para controlar o tempo entre a administração de antibióticos aos pacientes e a primeira incisão da cirurgia. Estes são apenas alguns exemplos da aplicabilidade que as cartas de controle possuem nesta área e a forma como podem ser úteis para os profissionais de saúde. O objetivo fundamental destas ferramentas aplicadas à área da saúde é então promover um serviço eficiente e seguro onde a informação flui entre os intervenientes de uma forma clara e inteligente. No caso da monitorização e deteção de infeções, o objetivo é então “[...] alertar os profissionais de saúde para uma mudança na taxa de infeção dentro de um período de tempo relevante, providenciando dessa forma deteção atempada na presença de flutuação aleatória.” (Morton *et al.*, 2001).

No âmbito do caso de estudo que será desenvolvido ao longo do trabalho, as cartas de controlo não serão utilizadas para monitorizar a ocorrência de infeções, mas antes a evolução do número de agentes microbianos isolados que possam causar infeções hospitalares. Desta forma, estas ferramentas poderão ser inseridas num esforço de prevenção às infeções hospitalares, reforçando a vigilância epidemiológica.

### **1.3 Noções de microbiologia**

Em seguida serão apresentadas algumas noções de microbiologia, incidentes nomeadamente sobre a classificação dos microrganismos e as características de alguns microrganismos abordados no estudo. Para um maior nível de detalhe sobre o tema recomenda-se a leitura de Barroso *et al.* (2014) e Ferreira *et al.* (2010), as referências bibliográficas utilizadas nesta secção. A Microbiologia é um ramo da ciência que estuda os microrganismos, ou seja, seres vivos de dimensões microscópicas, sendo uma área da Biologia que assume grande importância tanto como ciência básica como aplicada, desde estudos fisiológicos, bioquímicos e moleculares, até ao controlo de doenças e de pragas, produção de alimentos, entre outros. Na categoria de microrganismos, inserem-se as bactérias, os vírus, os protozoários e alguns fungos.

Os seres vivos são distribuídos na Árvore Filogenética da vida em diferentes categorias. Enquanto os procariotas são seres que apresentam o seu material genético distribuído no citoplasma, como acontece com as bactérias, os eucariotas são seres cujo material genético se encontra organizado no núcleo da célula. Nesta última categoria incluem-se os fungos, os protozoários, os animais, as algas e as plantas. Desde 1980 que os procariotas se desdobraram ainda em dois domínios biológicos distintos: *Bacteria* e *Archea*.

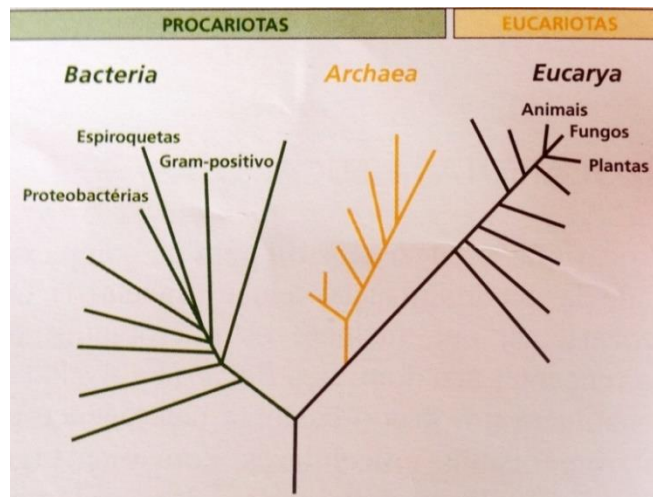


Figura 1.1 Árvore filogenética da vida

Fonte: Barroso *et al.* (2014)

Os microrganismos encontram-se em todos os habitats. Apesar de alguns microrganismos provocarem graves malefícios aos seres vivos, hoje é igualmente de conhecimento geral que a maioria desempenha um importante papel na sua existência e bem-estar, sendo igualmente responsáveis por fenómenos essenciais à vida do planeta.

A classificação dos seres vivos obedece a uma hierarquia que pode ser observada esquematicamente na Figura 1.2.

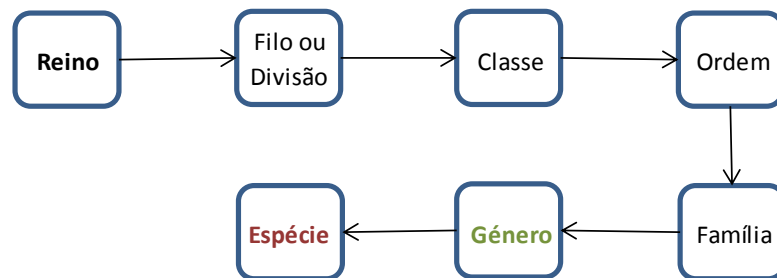


Figura 1.2 Classificação dos seres vivos

Estes níveis constituem grupos sucessivamente mais pequenos e não sobreponíveis, sendo-lhes concedido um nome aos quais é dado um reconhecimento formal. Assim, todas as espécies estão associadas a um género e todos os géneros englobam-se numa família. O reino é a categoria superior da classificação científica dos organismos.

### **1.3.1 Classificação dos microrganismos**

Nesta subsecção, apresentam-se de forma sucinta algumas definições dos diferentes tipos de microrganismos, que permitem ajudar a compreender a importância do seu controlo.

**Bactérias:** São organismos unicelulares, procariotas. Podem encontrar-se desde o fundo dos oceanos ao sistema digestivo de muitos seres vivos, assim como no sistema radicular de várias espécies de plantas. Apesar de serem potencialmente patogénicas, ou seja, suscetíveis de provocar doenças, têm também grande importância para o equilíbrio da Biosfera, sendo as principais responsáveis pela reciclagem de nutrientes.

**Fungos:** São organismos unicelulares ou pluricelulares, eucariotas. São seres ubíquos, ou seja, capazes de se adaptarem a qualquer tipo de ambiente, desempenhando um papel importante na vida do homem quer duma maneira benéfica, quer de um modo prejudicial. Encontram-se descritas mais de cem mil espécies, sendo na sua maioria saprófitas. Nas últimas décadas os fungos emergiram como causa de infeções humanas graves, em especial em indivíduos imunocomprometidos e hospitalizados.

**Vírus:** São entidades que se replicam dentro de células vivas, sendo parasitas intracelulares obrigatórios, o que significa que só são capazes de completar o seu ciclo replicativo dentro de uma célula viva.

**Protozoários:** São seres unicelulares eucariotas que englobam diversos filos, três dos quais têm importância na medicina humana. Podem parasitar o sistema digestivo, urogenital, sanguíneo e outros tecidos humanos.

### **1.3.2 Características de alguns microrganismos abordados**

Nesta subsecção, é apresentada uma breve descrição de alguns géneros de microrganismos que se revelaram mais pertinentes ao longo do estudo desenvolvido.

**Género *Acinetobacter*:** Este género inclui bactérias que se encontram amplamente distribuídas pela natureza, podendo ser encontradas no solo, na água e em plantas, estando raramente associadas a infeções. Coloniza indivíduos hospitalizados mas não parece ser um colonizador normal do corpo humano.

São especialmente prevalentes em Unidades de Cuidados Intensivos e causa frequente de pneumonia associada a ventilação mecânica. A espécie mais suscetível de provocar infeção hospitalar é a *Acinetobacter baumannii*.

**Género *Escherichia*:** Este género é constituído por cinco espécies, sendo a mais importante a *Escherichia coli*. As estirpes dentro desta espécie podem-se classificar em três grupos: As estirpes comensais que têm como habitat o trato gastro-intestinal e que normalmente são desprovidas de virulência. Podem, no entanto, causar infeções oportunistas em hospedeiros imunocomprometidos.

Por sua vez, as estirpes intestinais patogénicas provocam infeções intestinais, e as estirpes extra-intestinais estão relacionadas com infeções urinárias e com meningites no recém-nascido.

**Género *Klebsiella*:** O género *Klebsiella* é constituído por bactérias frequentemente encontradas na água, no solo, nas plantas e nos animais, à superfície das mucosas.

Nos humanos, a espécie *Klebsiella pneumoniae* é comensal das vias respiratórias superiores e do trato intestinal. Esta espécie está frequentemente associada a infeções ligadas a cuidados de saúde, nomeadamente infeções urinárias, pneumonias e septicemias.

Numerosas publicações reportam situações de surtos epidémicos nos hospitais por estas bactérias, com elevada morbidade e mortalidade entre os doentes hospitalizados.

**Género *Pseudomonas*:** O género *Pseudomonas* é constituído por bactérias que se encontram amplamente distribuídas no solo e na água, e que são patogénios oportunistas, ou seja, raramente causam doença em indivíduos saudáveis.

A espécie *Pseudomonas aeruginosa* está disseminada na Natureza. Pode persistir em locais húmidos e contaminar desinfetantes e equipamento hospitalar diverso. Esta espécie é

normalmente resistente a antissépticos e antibióticos, o que facilita a sua presença prolongada e a sua disseminação em hospitais.

Não é um microrganismo típico da flora normal de indivíduos saudáveis. No entanto, cerca de 10% da população pode apresentar *Pseudomonas aeruginosa* no trato gastrointestinal, valor que sobe para 30% se os indivíduos estiverem hospitalizados. Este microrganismo pode originar infeções em praticamente todos os órgãos, com diferentes níveis de gravidade.

A nível hospitalar, causa infeções do trato respiratório e urinário, em especial em indivíduos com cateteres, assim como infeções em feridas. Os queimados são também um grupo de risco.

**Género *Staphylococcus*:** Estas bactérias fazem parte da flora natural da pele e das mucosas dos humanos. No entanto, em condições particulares, num hospedeiro com o sistema imunológico enfraquecido, como é o caso de crianças, idosos e doentes hospitalizados, os *Staphylococcus* podem tornar-se agentes patogénicos, podendo causar infeções graves ou mesmo letais.

As infeções mais frequentes são as da pele e dos tecidos moles, respiratórias, dos ossos, do sangue, do coração e do trato urinário. A espécie mais frequentemente relacionada com infeções em humanos é a espécie *Staphylococcus aureus*, que está associada a uma elevada taxa de mortalidade e morbidade, e que coloniza predominantemente as narinas; e a espécie *Staphylococcus epidermidis* que se localiza um pouco por toda a pele.

Após 1960, o *Staphylococcus aureus* que nos anos de 1940 era sensível à Penicilina, tornou-se resistente. Apesar de se ter tornado sensível à meticilina durante cerca de dois anos, ao fim deste período voltaram a surgir os primeiros casos de resistência desta vez à meticilina associados a hospitais (HA-MRSA- *hospital associated methicillin-resistant Staphylococcus aureus*, que nas últimas décadas se disseminaram por todo o mundo.

**Género *Streptococcus*:** Este género é composto por um grupo diverso de espécies que podem ser consideradas comensais ou patogénicas tendo a capacidade de infetar uma grande variedade de tecidos ou locais. A espécie *Streptococcus piogénico* é a clinicamente

mais relevante, podendo provocar infecções do trato respiratório, da pele e infecções invasivas de vários órgãos.

O único reservatório desta bactéria é o homem, podendo este ser um portador assintomático. A transmissão pode ser feita por via aérea ou por contacto pessoa a pessoa, direto ou indireto.

A espécie *Streptococcus pneumoniae* é um agente exclusivamente patogénico e pode colonizar a nasofaringe, sendo a principal causa de otite média aguda e pneumonia adquirida na comunidade.

**Género *Enterococcus*:** São microrganismos obíquos na Natureza. Em humanos fazem parte da flora comensal do trato gastrintestinal sendo considerados agentes patogénicos oportunistas. Nas últimas décadas, estes microrganismos têm vindo a ganhar notoriedade como um importante agente nosocomial.

Esta importância está relacionada com a resistência intrínseca ou adquirida à maioria dos antibióticos usados na prática clínica. Estas bactérias podem crescer e sobreviver em condições adversas e permanecer durante longos períodos em numerosos habitats tais como no solo, na água, nos alimentos, em animais e no Homem.

A resistência destes organismos a desinfetantes é uma importante característica para a sua sobrevivência e disseminação em meio hospitalar.

Como flora comensal em humanos, os *Enterococcus* colonizam maioritariamente o cólon, podendo também ser isolados ao longo de todo o aparelho digestivo.

No ambiente hospitalar são facilmente transmissíveis pelas mãos ou mediante a utilização de instrumentos clínicos. As feridas cirúrgicas, o trato urinário ou a própria cavidade oral são locais propensos a infecções e facilitam a transmissão destes organismos de doente para doente.

**Género *Proteus*:** São bactérias ubíquas, encontrando-se no meio ambiente e sendo constituintes da flora intestinal do Homem e dos animais. As bactérias entéricas podem também integrar parte da flora normal do aparelho respiratório superior e genital.

A espécie *Proteus mirabilis* é comensal do aparelho digestivo e responsável por infeções do trato urinário principalmente em indivíduos não hospitalizados.

## **1.4 Desenvolvimento da dissertação**

O presente trabalho segue uma estrutura que procura não só garantir que a sua leitura é clara e objetiva, mas também que as exposições teóricas e os exemplos contemplados sigam uma sequência lógica.

No Capítulo 1 procedeu-se a um enquadramento da problemática a ser estudada, tendo sido evidenciada a motivação para a introdução das cartas de controlo na vigilância epidemiológica. Foi ainda apresentada uma revisão bibliográfica referente ao controlo estatístico de processos na saúde, assim como algumas noções de microbiologia.

O Capítulo 2 incide sobre a formulação das cartas de controlo, nomeadamente das cartas de Shewhart por atributos. São referidas as fases de implementação de uma carta de controlo, as principais medidas de desempenho e a importância da aplicação das regras de *runs*. São ainda apresentadas as cartas CUSUM e EWMA como métodos mais sofisticados, sendo a formulação das mesmas exposta.

No Capítulo 3, a base de dados utilizada para o caso de estudo é descrita, sendo levada a cabo uma análise preliminar sobre os dados assente numa análise exploratória, a qual contempla em particular uma análise univariada, uma análise de eventuais correlações entre pares de variáveis, e uma análise multivariada, nomeadamente com o desenvolvimento de uma Análise em Componentes Principais sobre os géneros de microrganismos. Desta forma, procura-se identificar quais os microrganismos mais frequentes, assim como os serviços onde existe um maior número de isolamentos.

O Capítulo 4 descreve a evolução dos principais microrganismos e serviços destacados no Capítulo 3, identificando que microrganismos e serviços apresentaram uma evolução positiva, negativa ou estável no que se refere ao número de isolamentos ao longo do tempo. Esta é uma informação fulcral para o desenvolvimento de cartas de controlo relevantes.

No Capítulo 5 são construídas cartas de controlo para a monitorização de variáveis identificadas anteriormente como relevantes quer pela sua representatividade na base de dados, quer pela evolução que apresentaram ao longo do tempo. Neste Capítulo são desenvolvidas cartas de Shewhart, cartas CUSUM e cartas EWMA para a monitorização do número de isolamentos de microrganismos ao longo do tempo. Procura-se dessa forma evidenciar que a utilização de cartas de controlo pode servir mais que um fim, tendo nomeadamente interesse não só para detetar aumentos na taxa de ocorrências como também para verificar que o processo está estável ou mesmo que ocorreu uma diminuição, que traduz uma melhoria no processo.

Posteriormente é apresentada a formulação de cartas CUSUM e EWMA para a monitorização de processos de Poisson, sendo evidenciadas as vantagens destas cartas face às tradicionais cartas de Shewhart. Este estudo será novamente acompanhado de um caso prático no qual se procura construir cartas CUSUM e EWMA para a monitorização de um processo de Poisson, demonstrando a utilidade e o poder destas cartas em detetar alterações menores no processo.

Uma carta CUSUM para o tempo entre eventos é também apresentada, sendo este esquema posto em prática mais uma vez com um caso de estudo. A relação entre a taxa de ocorrências e o tempo entre ocorrências é evidenciada.

Por fim é exposto um estudo relativo ao impacto que a utilização de diferentes períodos de agregação para a monitorização de um processo provoca no desempenho das cartas.

O Capítulo 6 apresenta as principais conclusões retiradas do estudo, bem como desafios para trabalhos futuros, sendo feita a ponte de ligação entre a motivação para a problemática estudada e quais os principais ensinamentos passíveis de serem retirados não só da exposição teórica dos conteúdos, mas também dos casos práticos reais que acompanharam sempre o trabalho.

## **Capítulo 2 - Cartas de Controlo para a monitorização de processos e serviços**

### **2.1 Introdução**

As cartas de controlo usuais servem para monitorizar os parâmetros de interesse da distribuição das variáveis associadas às características de qualidade em estudo. As primeiras cartas de controlo foram propostas por Shewhart em 1924, assumindo ainda hoje grande importância.

A sua simplicidade de construção e utilização, a capacidade de evidenciar o comportamento de variáveis e o seu poder em controlar processos, são alguns exemplos do motivo pelo qual estas ferramentas têm vindo a ser tão utilizadas em diversas áreas. Os dados, recolhidos cronologicamente, são analisados como se se tratasse de uma série temporal.

A escolha da carta a implementar depende sempre da natureza das variáveis em estudo, as quais podem ser quantitativas ou qualitativas. Enquanto as primeiras recaem sobre características da qualidade passíveis de serem quantificáveis numa escala numérica, as segundas apenas incidem sobre dados categóricos. Um caso muito recorrente é quando existem apenas duas categorias, ou seja, a variável é binária. No controlo estatístico de processos, tal traduz-se na presença ou ausência de conformidade com o estado desejável, como por exemplo, presença ou ausência de infeção. O caso de estudo apresentado neste trabalho, incide por sua vez sobre a presença ou ausência de microrganismos identificados em produtos biológicos analisados. Apesar da maior parte das variáveis consideradas na área da saúde serem eventualmente quantitativas do tipo contínuo, existirá em muitos casos interesse em transformar as variáveis em qualitativas (categóricas).

Enquanto as cartas por Variáveis são utilizadas para monitorizar dados contínuos, as cartas por Atributos são usadas para dados discretos ou categóricos. No caso da saúde, o estudo deste último tipo de cartas será potencialmente mais relevante já que nas aplicações na área da saúde, a utilização de atributos é muito mais prevalente do que no caso da indústria (Woodall, 2006).

Em qualquer dos casos, a formulação genérica das cartas de Shewhart passa sempre por medir a perturbação do valor da variável em torno do valor desejado para o processo. Essa perturbação vem normalmente expressa em relação ao desvio padrão inerente ao processo e assume muito frequentemente a forma apresentada em (2.1).

$$\begin{aligned} \text{Limite Superior de Controlo (LSC)} &= \mu_Y + k \cdot \sigma_Y, \\ \text{Linha Central (LC)} &= \mu_Y, \\ \text{Limite Inferior de Controlo (LIC)} &= \mu_Y - k \cdot \sigma_Y, \end{aligned} \tag{2.1}$$

onde  $Y$  é uma estatística associada à característica da qualidade utilizada para monitorizar a variável em estudo e  $k$  é uma constante, que mede a distância entre a linha central e os limites de controlo em múltiplos do desvio padrão da estatística de controlo, fixando determinado desempenho para a carta (sob controlo).

Os limites de controlo 3-sigma assumem clara popularidade na literatura do controlo estatístico de processos. Apesar de serem os mais utilizados e simples de determinar, é preciso ter em consideração que não são os mais adequados se a distribuição de  $Y$  for muito assimétrica. É de referir ainda que os limites de controlo de uma carta podem ser fixados em quantis previamente especificados da distribuição da estatística de controlo.

As cartas de controlo são assim constituídas por uma Linha central (LC), que pode ser estimada recorrendo a dados históricos, ou então definida à partida como o valor desejável para o parâmetro do processo a controlar, e pelos Limites de Controlo – Superior (LSC) e Inferior (LIC), no caso de cartas bilaterais. Estes são calculados de acordo com a variância inerente ao processo e a estatística de controlo utilizada, em vez de estabelecidos *a priori*. No caso da indústria, é usual a existência de cartas de controlo com ambos os limites, ou seja, cartas de controlo bilaterais. Já no caso da saúde, tal como se irá verificar, em muitos dos parâmetros a monitorizar, poderá apenas fazer sentido considerar o limite de controlo superior, nomeadamente quando se pretende monitorizar, por exemplo, o número de infeções, obtendo-se neste caso uma carta unilateral superior. No entanto, a consideração de limites inferiores de controlo pode fazer sentido quando se procura evidenciar a melhoria

contínua de um processo. É o caso de verificar se uma determinada alteração num protocolo está a conduzir efetivamente a melhorias significativas.

Para além da necessidade da caracterização das variáveis, é ainda fundamental atentar ao comportamento que estas assumem, conhecendo a distribuição que seguem. Consoante a distribuição subjacente aos dados do processo, existem alguns tipos de cartas de controlo específicas bastante eficientes, geralmente utilizadas na prática. Por exemplo, para dados contínuos provenientes de uma distribuição Gaussiana, para a monitorização do valor médio e do desvio padrão do processo, é adequado usar-se uma carta- $\bar{X}$ , a carta- $S$  ou a carta- $R$ , respetivamente. Para dados de contagens baseadas numa distribuição de Poisson, a carta- $c$  ou a carta- $u$  são, de um modo geral, apropriadas. Para dados discretos provenientes de uma distribuição Binomial, a carta- $p$  ou carta- $np$  são as melhores alternativas. Estas cartas pressupõem a existência de uma distribuição conhecida para os dados associados ao processo – são cartas paramétricas. No entanto, muitas vezes, tal pode não acontecer, podendo neste caso considerar-se um outro tipo de cartas denominadas cartas não paramétricas, cujo estudo está fora do âmbito deste trabalho.

O esquema apresentado na Figura 2.1 foi inspirado num diagrama apresentado por Swift (1995) e representa uma forma simples e intuitiva de compreender o tipo de carta que deve ser utilizado de acordo com a natureza das variáveis a monitorizar e a dimensão amostral possível de ser considerada.

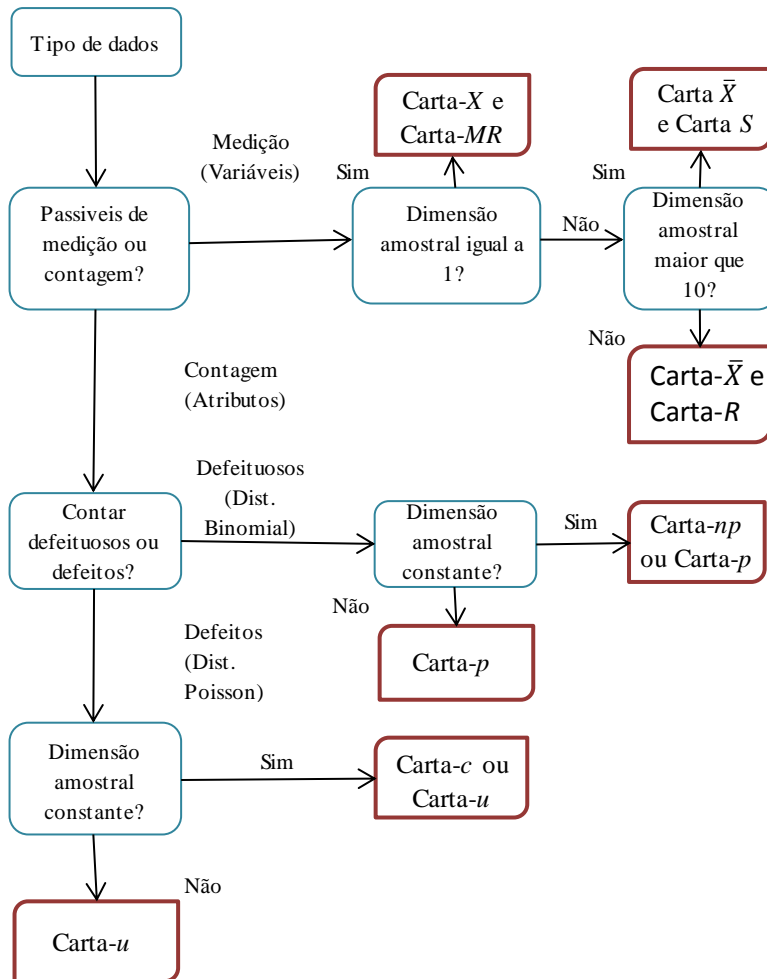


Figura 2.1 Diagrama de seleção da carta

Fonte: Swift (1995)

Benneyan (2001a) elaborou uma tabela sobre a escolha do tipo de carta com exemplos práticos para o caso da saúde. Pelo interesse que poderá ter tanto a nível académico como para os profissionais de saúde, essa tabela é reproduzida na Tabela 2.1.

Tipo de carta de controle	Distribuição de Probabilidade	Quando é apropriado usar	Exemplos
$\bar{X}$ e $S$ (Representa a média e o desvio padrão amostral)	Normal (Gaussiana)	Variáveis contínuas com distribuição normal ou pelo menos simétrica ou aproximadamente simétrica. Nota: As cartas $\bar{X}$ e $R$ são por vezes utilizadas como uma alternativa, apesar de não possuírem propriedades estatísticas tão boas (cartas de controle para valores individuais deverão ser usadas apenas como último recurso pela mesma razão)	- Duração da espera de pacientes - Duração dos procedimentos - <i>Timing</i> de antibióticos pré operatórios - Dados fisiológicos - Tempo entre a decisão da primeira incisão para Cesarianas emergentes
$np$ (Representa o total dos valores da amostra com a característica de interesse)	Binomial	Número total de casos dicotômicos gerados por um processo que resulta num resultado conhecido Nota: Assume-se constante a dimensão de cada amostra	- Número de cirurgias nas quais se desenvolveu infecção cirúrgica do local cirúrgico - Número de pacientes que receberam um antibiótico a tempo - Número de pacientes readmitidos
$p$ (Representa a fração dos valores da amostra com a característica de interesse)	Binomial	Fração de casos dicotômicos gerados por um processo que resulta num resultado conhecido Nota: A dimensão de cada amostra pode variar	- Percentagem de cirurgias nas quais se desenvolveu uma infecção do local cirúrgico - Percentagem de pacientes que receberam um antibiótico a tempo - Percentagem de pacientes readmitidos
$c$ (Representa o número de não conformidades por unidade/intervalo de inspeção)	Poisson	Número total de um determinado evento, podendo ser mais que um evento por paciente ou unidade amostral Nota: Assume-se constante a oportunidade ou área amostral em cada período de tempo	- Número de quedas de pacientes - Número de infecções de linha central - Número de pneumonias associadas a ventilador - Número de picadas de seringa
$u$ (Representa o número de não conformidades por um conjunto de unidades de inspeção previamente fixadas)	Poisson	Taxa de ocorrência de um determinado evento, podendo ser mais que um evento por paciente ou unidade amostral Nota: A taxa é ajustada a um valor médio por uma dimensão comum de denominador de amostragem	- Número médio de quedas de pacientes por cada 100 dias-pacientes - Número de infecções de linha central por cada 100 dias-linha - Número de pneumonias associadas a ventilador por cada 100 dias-ventilador
$g$ (Representa contagens entre eventos)	Geométrica	Número de casos ou quantidade de tempo entre ocorrências Nota: Particularmente útil para eventos raros ou quando a taxa de ocorrência é baixa (por ex., taxa < 0,01)	- Número de cirurgias entre infecções - Número de pacientes entre complicações - Numero de dias entre efeitos de medicamentos adversos - Número de dias entre picadas de seringas

Tabela 2.1 Ilustração de casos práticos associados a diferentes cartas.

Fonte: Benneyan (2001a) (Tradução)

## **2.2 Fases de implementação de uma carta de controle**

Existem duas fases transversais à implementação de cartas de controle. Numa primeira fase, tipicamente referida como Fase I, o historial do processo é analisado de forma a evidenciar o comportamento típico das variáveis. Na fase seguinte – Fase II – o processo é monitorizado através de uma carta de controle que deve ser escolhida de forma a ser adequada aos dados e aos parâmetros a monitorizar.

**Fase I:** Esta fase compreende a tarefa de estimar os parâmetros do processo e consequentemente os parâmetros da carta e os limites de controle. Nesta fase, assumindo o processo sob controle, deverá existir um historial de dados. Muitas vezes esta tarefa pode ser mais difícil do que aparenta. Em muitas das instituições de saúde, a recolha de dados ainda não é feita de forma sistemática e organizada. Noutros casos, mesmo existindo um bom sistema de informação, os dados não são tratados, ficando informação importante por analisar. Assim, estando o processo estável e sob controle estatístico, e uma vez determinados os limites de controle da carta, estão criadas as condições necessárias para prosseguir para a fase seguinte.

**Fase II:** Nesta fase, dá-se início à monitorização do processo propriamente dito, recolhendo-se informação *online* que é registada na carta construída. Caso alguma estatística amostral ou observação caia fora dos limites de controle, um alerta é dado e o processo é considerado fora de controle estatístico. Uma investigação deverá ser levada a cabo para averiguar problemas que possam estar a comprometer o processo, uma vez que a evidência estatística aponta para a existência de uma eventual causa especial.

## 2.3 Medidas de desempenho de uma carta de controle

Dada a associação que muitas vezes é feita entre cartas de controle e o teste de hipóteses, é frequente definir medidas de *performance* de uma carta baseadas nos erros  $\alpha$  e  $\beta$ , sendo:

$$\begin{aligned} H_0: & \text{Processo está no estado IN (sob controle),} \\ H_1: & \text{Processo está no estado OUT (fora de controle).} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= P(\text{Decidir Estado OUT} | \text{Processo Estado IN}), \\ \beta &= P(\text{Decidir Estado IN} | \text{Processo Estado OUT}). \end{aligned}$$

(2.2)

O erro  $\alpha$  é geralmente referido como a taxa de falsos alarmes. Assim, os limites de controle da carta podem ser determinados de modo a obter-se uma carta com uma taxa de falsos alarmes pré-definida, esperando-se que o valor de  $\beta$  decorrente desses limites de controle seja baixo. Alternativamente, as propriedades das cartas de controle podem ser medidas analisando a distribuição da variável *Run Length* (RL), que traduz o número de amostras ou observações até a carta emitir um sinal, em particular através do seu valor médio e do desvio padrão. O *Average Run Length* (ARL) e *Standard Deviation of Run Length* (SDRL) são os indicadores de *performance* mais usados. Quando o processo está sob controle estatístico, o ARL deve ser elevado. Por sua vez, deve ser reduzido quando o processo está fora de controle estatístico, traduzindo boa capacidade da carta em emitir um sinal rapidamente. Por sua vez, na área da saúde, os indicadores de *performance* mais usados estão associados à sensibilidade e à especificidade, sendo:

$$\text{Sensibilidade} = P(\text{Decidir Estado OUT} | \text{Processo Estado OUT}) = 1 - \beta,$$

$$\text{Especificidade} = P(\text{Decidir Estado IN} | \text{Processo Estado IN}) = 1 - \alpha.$$

(2.3)

O primeiro conceito está relacionado com a potência da carta em detetar mudanças no processo, isto é, a probabilidade de detetar uma mudança verdadeira no processo. Por sua

vez, a especificidade traduz a probabilidade de concluir correctamente que um processo não mudou, isto é, que se mantém sob controlo. Entre estes dois conceitos existe um *trade off*, significando que um aumento na especificidade vai normalmente conduzir a uma diminuição na sensibilidade (Benneyan, 1998b).

O cálculo de limites de controlo adequados é uma das problemáticas mais estudadas das cartas de controlo uma vez que tem um enorme impacto na sua *performance* em matéria de sensibilidade e especificidade.

Nas cartas de Shewhart implementadas, e assumindo que os parâmetros são conhecidos, a relação entre o ARL sob controlo,  $ARL_0$ , que se pretende que a carta seja capaz de garantir e a taxa de falsos alarmes é estabelecida da seguinte forma:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha}. \quad (2.4)$$

De notar que o parâmetro  $ARL_0$  que surge na expressão é o ARL calculado quando o processo está sob controlo estatístico. Esta expressão representa matematicamente o *trade off* entre a sensibilidade e a especificidade das cartas de controlo. O ARL irá aumentar à custa de uma diminuição na taxa de falsos alarmes, que é o mesmo que dizer que a sensibilidade da carta aumenta à custa de um aumento na especificidade.

Como alternativa aos limites de controlo do tipo definido em (2.1), que não são adequados se a distribuição da estatística de controlo for muito assimétrica, definem-se limites de controlo de modo a obter um valor  $\alpha$  previamente fixado, ou um determinado  $ARL_0$ , ou ainda definindo um valor fixo para a especificidade. Desta forma é possível comparar a *performance* de várias cartas. No esquema mais usual, carta de médias  $\bar{X}$  com limites de controlo 3-sigma, estes são estabelecidos de forma a que 99,73% dos valores da estatística amostral, se encontrem entre os limites de controlo quando o processo está sob controlo estatístico.

Para aumentar o poder das cartas em detetar mudanças, podem ser implementadas regras que procuram evidenciar determinados comportamentos das variáveis. Estas regras permitem detetar outras situações em que um processo está fora de controlo, apesar de

nenhum sinal ter sido emitido. Situações como instabilidade do processo, alterações repentinas na sua média, ciclos e tendências, são detetadas pelo uso destas regras conhecidas na literatura por Regras de *Runs*. Os conjuntos de regras *Western Electric*, Nelson, *Boeing AQS* e *Trietsch* são alguns exemplos de Regras de *Runs* que procuram melhorar a *performance* das cartas.

## **2.4 Regras de *Runs***

Noskievičová (2013) apresentou no seu trabalho não só uma listagem de padrões não naturais presentes no comportamento das variáveis que permitem identificar que o processo está fora de controlo mesmo quando não é emitido nenhum sinal, como também procedeu à descrição destes padrões, fazendo a ponte de ligação com diversas regras de *Runs* que são assentes na procura destes padrões. Por fim, referiu ainda vários conjuntos de regras para além da regra de Shewhart tais como as regras *Western Electric*, Nelson, ISO 8258, AIAG, *Boeing AQS* e *Trietsch*, enunciando para cada um as regras que deverão ser quebradas para se considerar que o processo está fora de controlo. Nesta secção, o trabalho de Noskievičová (2013) será assim brevemente apresentado de forma a fornecer uma visão global, mas algo detalhada, sobre os principais conjuntos de regras de *runs* existentes.

Enquanto os parâmetros da estatística de controlo estiverem compreendidos entre os limites de controlo e demonstrarem um padrão aleatório natural ao longo do tempo, considera-se que o processo está estatisticamente estável. No entanto, se alguns valores estiverem fora dos limites de controlo ou se os valores dentro dos limites se comportarem de uma forma não aleatória, apresentando padrões não naturais, admite-se a existência de uma causa especial que deverá ser investigada e posteriormente eliminada do processo através da implementação de medidas corretivas.

Uma vantagem das cartas de controlo é o facto de permitirem observar graficamente o comportamento do processo ao longo do tempo, sendo possível procurar e identificar padrões não naturais como um sintoma de causas especiais.

Num padrão natural, as observações devem oscilar aleatoriamente da seguinte forma:

- A maioria das observações encontra-se próxima da linha central.
- Apenas algumas observações se afastam da linha central aproximando-se dos limites de controlo.
- Muito raramente algumas observações saem fora dos limites de controlo.
- As observações flutuam em torno da linha central.
- As observações distribuem-se de uma forma balanceada por ambos os lados da linha central.
- A carta não apresenta padrões ou tendências.

Na Tabela 2.2 é possível observar os padrões que mais usualmente são procurados nas tradicionais cartas de Shewhart, contendo não só a sua descrição como também o sintoma evidenciado pelas cartas na presença dos padrões não naturais.

Numero	Padrão não natural	Descrição do padrão	Sintoma na carta de controlo
1	Alteração grande	Mudança repentina e grande	Observações perto e/ou fora dos limites de controlo
2	Alteração menor e sustentada	Mudança menor e sustentada	Série de observações do mesmo lado da linha central
3	Tendências	Mudanças contínuas numa direção	Aumento ou diminuição sustentada dos valores
4	Estratificação	Diferenças pequenas entre os valores no longo prazo, ausência de observações perto dos limites de controlo	Longa sequência de observações perto da linha central de ambos os lados
5	Mistura	Ausência de observações perto da linha central	Série de observações consecutivas do mesmo lado da linha central, todas afastadas da linha central
6	Variação sistemática	Oscilação regular entre valores elevados e reduzidos	Longa sequência de observações consecutivas alternando para cima e para baixo
7	Ciclo	Movimento periódico recorrente	Padrões cíclicos recorrentes de observações

Tabela 2.2 Padrões não naturais e sintomas da carta. Fonte: Noskievičová (2013)

As regras de *runs* são um processo de reconhecimento de padrões não naturais que consistem em quantificar a dimensão dos mesmos. Na Tabela 2.3 são apresentadas algumas regras de *runs* que recaem sobre os padrões 1 a 6 da Tabela 2.2.

De forma a aplicar as regras, é necessário dividir a região compreendida entre os limites de controlo em três zonas que se desdobram em seis sub-regiões, cada uma com uma largura correspondente a 1-sigma. É através da análise da localização das sequências de observações em relação às zonas que se estabelecem as regras. Sendo assumida a normalidade da estatística de controlo, quando o processo está sob controlo é de esperar que 68,27% das observações estejam na Zona C, 27,18% na Zona B e 4,28% na Zona A. Na Figura 2.2 é possível observar graficamente a representação das zonas.

Num.	Regras de <i>Runs</i>
1	Uma ou mais observações a uma distância da média superior a 3-sigma (para além da zona A)
2	2 em 3 observações consecutivas a uma distância da média entre 2-sigma e 3-sigma (na zona A ou para além desta)
3	4 em 5 observações consecutivas a uma distância da média entre 1-sigma e 3-sigma (na zona B ou para além desta)
4	8 observações consecutivas do mesmo lado da média (na zona C ou para além desta)
5	6 observações consecutivas aumentando ou diminuindo de uma forma sustentada
6	15 observações consecutivas acima ou abaixo da linha central (na zona C)
7	14 observações consecutivas alternando para cima e para baixo
8	8 observações consecutivas em ambos os lados da linha central sem nenhuma observação na zona C

Tabela 2.3 Regras de *Runs*

Fonte: Noskievičová (2013)

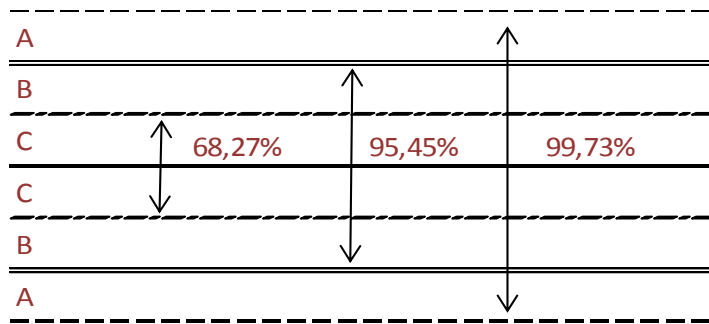


Figura 2.2 Representação das zonas

Fonte: Noskievičová (2013)

Na Tabela 2.4 é possível observar os conjuntos de regras mais conhecidos, figurando para cada um as regras que são utilizadas. De notar que por vezes podem existir algumas adaptações face às regras descritas, estando estas alterações igualmente patentes na tabela. Os números entre parênteses que se encontram na Tabela 2.4 referem-se à ordem pela qual as regras devem ser aplicadas. Conforme se pode observar, as regras de Nelson são as mais complexas na medida em que cobrem todas as regras apresentadas na Tabela 2.3. Adicionalmente às regras *Western Rules*, Nelson definiu ainda uma regra de *runs* para análise de oscilações e tendências. Para além disso, na regra número 4 a dimensão de *run* foi alterada de 8 para 9 observações. Comparativamente às regras *Western Rules*, de referir ainda que a sequência pela qual as regras devem ser aplicadas nas regras de Nelson é diferente.

Por sua vez, o conjunto de regras ISO 8258 copiou integralmente as regras de Nelson. O conjunto de regras de *Trietsch* é semelhante às regras de Nelson com a diferença de pequenas alterações nas regras 6, 7 e 8 em que as dimensões das *runs* foram redefinidas de forma a obter melhores propriedades estatísticas nas regras. Por fim, os conjuntos de regras *Boeing ASQ* e *AIAG* são menos complexos, baseando-se nas quatro primeiras regras de zonas de *Western Electric*.

Regras de <i>Runs</i>	Shewhart	Western Electric	Nelson	ISO 8258	AIAG	Boeing ASQ	Trietsch
1	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2		(2)	(5)	(5)		(2)	(5)
3		(3)	(6)	(6)		(3)	(6)
4		(4) 8 obs	(2) 9 obs	(2) 9 obs	(2) 7 obs	(4)	(2) 9 obs
5			(3)	(3)	(3)		(3)
6			(7) 15 obs	(7) 15 obs			(7) 13 obs
7			(4) 14 obs	(4) 14 obs			(4) 13 obs
8			(8) 8 obs	(8) 8 obs			(8) 5 obs

Tabela 2.4 Principais conjuntos de Regras de *Runs*

Fonte: Noskievičová (2013)

A utilização correta das regras de *runs* deve ainda ter em atenção o tipo de carta de controlo a que se aplicam. As seguintes recomendações podem-se revelar úteis na aplicação de determinadas regras a determinados tipos de cartas:

- Todas as regras podem ser aplicadas a cartas  $\bar{X}$  e cartas individuais pressupondo que a variável segue distribuição normal.
- As regras 1 a 4 podem ser aplicadas a cartas para a dispersão (R, S) sem quaisquer modificações quando a dimensão amostral é maior ou igual a 5 (deverá conduzir à existência de limites de controlo simétricos).
- As regras não paramétricas 4 e 7 funcionam razoavelmente bem para distribuições contínuas.
- As regras podem ser aplicadas sem quaisquer problemas em cartas-*np* e cartas-*c* supondo que a aproximação da variável à distribuição normal é válida e que os limites de controlo são relativamente simétricos.

- O ponto anterior aplica-se ao caso das cartas- $p$  e cartas- $u$  com limites de controlo constantes.

Para recomendações adicionais sobre a aplicação de regras de *runs*, nomeadamente sobre a sua utilização através de *software* estatístico tal como o *Statgraphics*, o *Minitab* e o *Statistica* recomenda-se a consulta atenta de Noskievičová (2013).

## 2.5 Cartas de Shewhart

Este tipo de cartas aplica-se a variáveis quantitativas e qualitativas. No entanto, no contexto do presente estudo, estas cartas irão ser essencialmente consideradas para o caso da monitorização de atributos.

Na implementação de cartas por Atributos assume-se que os itens a observar são classificados em conforme ou não conforme (defeituosos ou não defeituosos). A separação entre o conceito “defeituoso” e o conceito “defeito” é assim de extrema importância uma vez que conduz à utilização de cartas de controlo distintas. As cartas de controlo por atributos mais utilizadas são:

- A Carta- $p$  para monitorizar a percentagem de observações defeituosas.
- A Carta- $np$  para monitorizar o número de observações defeituosas em  $n$ .
- A Carta- $c$  para monitorizar o número de defeitos no total de observações.
- A Carta-  $u$  para monitorizar o número médio de defeitos por observação.

Uma vez que existe mais informação em classificar uma observação numa escala numérica do que numa categorização, usualmente as cartas por Atributos possuem menos informação do que as cartas por Variáveis. No entanto, apesar deste inconveniente, as cartas por Atributos são muito úteis em situações em que a característica da qualidade a monitorizar não é facilmente quantificada numa escala numérica (Montgomery, 2013). No caso da saúde, este último caso é muito frequente. Não sendo fácil de definir um grau de doença ou de infeção numa escala numérica estatisticamente relevante, é mais usual optar simplesmente por considerar a sua presença ou ausência. Assim sendo, e fazendo uma ponte de ligação com a terminologia do controlo estatístico de processos, existirá uma

observação defeituosa quando se concluir, por exemplo, pela presença de uma infecção. Caso se pretenda monitorizar o número de infecções ou a proporção que estas representam na totalidade de casos considerados, uma carta- $np$  ou uma carta- $p$  deverá ser implementada. De uma forma semelhante, poderá ser de interesse monitorizar os defeitos detetados. A título de exemplo, considere-se o cenário em que se pretende controlar a evolução das infecções presentes em diversas alas de uma enfermaria. Uma carta de potencial interesse a desenvolver seria então uma carta- $c$  ou carta- $u$  para monitorizar, respetivamente, o número de infecções, presentes na totalidade das alas ou o número médio de infecções por ala.

Conforme foi já referido, a identificação da distribuição subjacente a cada variável a controlar é fulcral no que concerne à escolha da carta adequada a implementar. A carta- $p$  e carta- $np$  têm subjacente uma distribuição Binomial. Esta distribuição modeliza o número de sucessos em repetições sucessivas de uma experiência com igual probabilidade de sucesso em cada repetição da experiência. Neste caso, um sucesso corresponderá à existência de infecção. Por sua vez, a carta- $c$  e a carta- $u$  pressupõem uma distribuição de Poisson, a qual mede o número de ocorrências de acontecimentos num determinado espaço de tempo, desde que estes sejam independentes. Por exemplo, para a monitorização do número de infecções por mês deverá então ser desenvolvida uma carta- $c$ . Em seguida, serão descritas estes quatro tipos de cartas por atributos:

#### **2.5.1.1 Carta- $p$**

Conforme foi dito, a carta- $p$  é utilizada para monitorizar a percentagem de defeituosos. Uma inspeção simultânea sobre inúmeras características de um evento é levada a cabo, sendo que se este não está em conformidade com os padrões numa ou mais características da qualidade é considerado defeituoso (Montgomery, 2013).

Seja  $D$  o número de defeituosos numa amostra de  $n$  observações. Se as  $n$  observações são independentes com igual probabilidade  $p$  de serem consideradas defeituosas, e estando o processo sob controlo estatístico, então:

$$D \sim \text{Bi}(n, p),$$

$$P(D = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (2.5)$$

Assim sendo, a estimativa para a proporção de defeituosos  $p$  é dada por:

$$\hat{p} = \frac{D}{n}. \quad (2.6)$$

Sendo o valor esperado e desvio padrão do estimador associado igual a:

$$\mu_{\hat{p}} = p \quad \text{e} \quad \sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}. \quad (2.7)$$

Assente nestes pressupostos estatísticos, a formulação da carta- $p$  com limites de controle 3-sigma é a seguinte:

$$\text{LSC} = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \quad \text{LC} = p \quad \text{e} \quad \text{LIC} = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}. \quad (2.8)$$

Se  $p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} < 0$ , então o LIC será colocado no valor 0.

Se  $p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} > 1$ , então o LSC será colocado no valor 1.

Note-se que caso  $p$  seja desconhecido, sob controle, deverá ser estimado através da percentagem média de defeituosos em  $m$  amostras do processo previamente consideradas para esta estimação, substituindo desta forma  $p$  por  $\bar{p}$  na formulação da carta.

Sendo  $\bar{p}$  calculado da seguinte forma,

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{i=1}^m n_i}, \quad (2.9)$$

para calcular o valor esperado e o desvio padrão do estimador  $\hat{p}$ , usam-se frequentemente as seguintes estimativas:

$$\hat{\mu}_{\hat{p}} = \bar{p} \quad \text{e} \quad \hat{\sigma}_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}. \quad (2.10)$$

Assim sendo, a formulação da carta- $p$  com limites de controlo estimados, vem descrita da seguinte forma:

$$\text{LSC} = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}, \quad \text{LC} = \bar{p} \quad \text{e} \quad \text{LIC} = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}. \quad (2.11)$$

Se  $\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} < 0$ , então o LIC será colocado no valor 0.

Se  $\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} > 1$ , então o LSC será colocado no valor 1.

### 2.5.1.2 Carta- $np$

Uma alternativa à carta- $p$  é a carta- $np$  que consiste em monitorizar o número de defeituosos em  $n$  observações. Apesar de ser bastante semelhante e assentar nos mesmos pressupostos estatísticos da carta- $p$ , esta carta é muitas vezes considerada mais simples que a carta- $p$  por quem não possui conhecimentos estatísticos (Montgomery, 2013).

A formulação da carta- $np$  com limites de controlo 3-sigma é apresentada abaixo:

$$\text{LSC} = np + 3\sqrt{np(1-p)}, \quad \text{LC} = np \quad \text{e} \quad \text{LIC} = np - 3\sqrt{np(1-p)}. \quad (2.12)$$

Mais uma vez é importante referir que caso  $p$  não seja conhecido, sob controlo, deverá ser estimado recorrendo à proporção média amostral de defeituosos  $\bar{p}$ , definida em (2.9), sendo a carta calculada da seguinte forma:

$$\boxed{\text{LSC} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}, \quad \text{LC} = n\bar{p} \quad \text{e} \quad \text{LIC} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}.} \quad (2.13)$$

Se  $n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} < 0$ , então o LIC será colocado no valor 0.

Se  $n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} > n$ , então o LSC será colocado em  $n$ .

### 2.5.1.3 Carta-c

A Carta- $c$  pretende monitorizar o número de ocorrências de defeitos no total de  $m$  amostras consideradas. Conforme já foi referido, considera-se que o número de ocorrências de defeito,  $N$ , considerando amostras de igual dimensão, segue uma distribuição de Poisson (Montgomery, 2013).

$$\boxed{\begin{aligned} N &\sim \text{Po}(\lambda), \\ P(N = x) &= \frac{e^{-\lambda}\lambda^x}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots \end{aligned}} \quad (2.14)$$

onde  $\lambda > 0$  é o parâmetro da distribuição de Poisson.

A carta- $c$  com limites de controlo 3-sigma vem então definida do seguinte modo:

$$\boxed{\text{LSC} = c + 3\sqrt{c}, \quad \text{LC} = c \quad \text{e} \quad \text{LIC} = c - 3\sqrt{c}.} \quad (2.15)$$

Se  $c - 3\sqrt{c} < 0$ , então o LIC será colocado no valor 0.

Quando o parâmetro  $c$  é desconhecido, sob controlo, procede-se à estimação do número médio de defeitos no total de  $m$  amostras consideradas para esta estimação:

$$\boxed{\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m N_i}{m}, \quad i = 1, 2, \dots, m.} \quad (2.16)$$

Desta forma, a carta- $c$  vem formulada da seguinte forma:

$$\boxed{\text{LSC} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}, \quad \text{LC} = \bar{c} \quad \text{e} \quad \text{LIC} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}.} \quad (2.17)$$

Se  $\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} < 0$ , então o LIC será colocado no valor 0.

#### 2.5.1.4 Carta- $u$

Relativamente à carta- $u$ , a variável a monitorizar é o número médio de defeitos por observação. Para cada amostra considerada, é calculado o rácio entre o número de de (2.18) detetados,  $N_i$ , e a dimensão amostral  $n_i$ :

$$\boxed{u_i = \frac{N_i}{n_i}, \quad i = 1, 2, \dots, m.}$$

Após o cálculo da proporção de defeitos em cada amostra inspecionada, procede-se ao cálculo do número médio de defeitos por amostra, no total das  $m$  amostras: (2.19)

$$\boxed{\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{m}, \quad i = 1, 2, \dots, m.}$$

Assente nestes pressupostos estatísticos, e de acordo com as estatísticas apresentadas, a formulação da carta- $u$  com limites 3-sigma é a seguinte:

$$\boxed{\text{LSC} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}, \quad \text{LC} = \bar{u} \quad \text{e} \quad \text{LIC} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}.} \quad (2.20)$$

Se  $\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} < 0$ , então o LIC será colocado no valor 0.

No caso de dimensões amostrais iguais,  $n_i = n$ , os limites de controlo permanecem inalterados para qualquer amostra considerada, sendo dados por:

$$\boxed{\text{LSC} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}, \quad \text{LC} = \bar{u} \quad \text{e} \quad \text{LIC} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}.} \quad (2.21)$$

Se  $\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} < 0$ , então o LIC será colocado no valor 0.

## 2.6 Cartas CUSUM e cartas EWMA

As cartas de Somas Acumuladas (CUSUM – *Cumulative Sum*) e de Médias Móveis Ponderadas Exponencialmente (EWMA – *Exponentially Weighted Moving Average*) são cartas mais sofisticadas que as tradicionais cartas de Shewhart, permitindo uma mais rápida deteção de pequenas alterações do processo (Montgomery, 2013). Uma distinção entre as tradicionais cartas de Shewhart e as cartas CUSUM e EWMA, é o facto das primeiras concluírem que um processo está sob controlo estatístico atendendo apenas à informação mais recente, excetuando o caso em que são utilizadas regras de *runs* (Woodall *et al.*, 2011). Pelo facto de considerarem na formulação da sua estatística de controlo o passado de um processo, sendo portanto técnicas com memória, as cartas CUSUM e EWMA assumem uma melhor *performance* em detetar alterações de menor dimensão no processo, mantendo, no entanto, uma baixa taxa de falsos alarmes (Benneyan, 1998b). Assim sendo, estes métodos serão mais utilizados para identificar mudanças sustentadas de pequena ou moderada dimensão, enquanto as cartas de Shewhart serão utilizadas para detetar grandes mudanças no processo (Morton *et al.*, 2001).

A área da saúde é particularmente exigente, sendo muitas vezes necessário monitorizar o processo de uma forma muito rigorosa. A título de exemplo, uma pequena alteração na taxa de infeção de um determinado bloco operatório pode ser um sintoma de um grave problema que deverá ser rapidamente resolvido sob pena de comprometer a segurança e qualidade da saúde dos próximos pacientes a serem submetidos a cirurgia.

É usual aplicar simultaneamente combinações de diferentes tipos de cartas de controlo de maneira a conseguir melhorar substancialmente a sua *performance*. Morton *et al.* (2001) concluiu que as cartas de Shewhart e EWMA usadas conjuntamente são ideais para monitorizar taxas de infeção por bactérias e por outros organismos multirresistentes. Por

sua vez, uma combinação de cartas de Shewhart com cartas CUSUM deverá ser utilizada para monitorizar taxas de infeção no bloco operatório.

No decorrer do presente trabalho serão consideradas várias combinações dos diferentes tipos de cartas de forma a verificar, por experiência empírica, quais as combinações que melhor funcionam nos cenários apresentados.

### 2.6.1 Cartas CUSUM

As cartas CUSUM são dos métodos de controlo estatístico mais utilizados na monitorização de serviços de saúde e no controlo da qualidade e segurança da saúde pública. Contrastando com a indústria, nesta área, a utilização de cartas EWMA tem sido mais rara (Woodall, 2006).

As cartas CUSUM foram introduzidas por Page em 1954 com especial incidência em processos industriais. Apesar de na área da saúde normalmente não existir uma distinção clara entre a Fase I e a Fase II do processo de implementação das cartas de controlo, pela sua maior capacidade em detetar pequenas alterações sustentadas em detrimento de grandes alterações mais repentinas, as cartas CUSUM assumem clara vantagem na Fase II (Woodall, 2006). Uma vez que permitem detetar mudanças no processo atempadamente, as cartas CUSUM são ferramentas que seguem uma filosofia de gestão de “fazer bem à primeira” (Lucas, 1985).

Considere-se a carta CUSUM Gaussiana que se revelou a versão mais usual na revisão bibliográfica efetuada neste trabalho. A carta CUSUM pode ser representada de duas formas: CUSUM Tabular ou CUSUM *V-Mask*. No âmbito deste trabalho apenas será considerada a representação Tabular. Assumindo que o processo está sob controlo e que a característica a monitorizar  $X_t$  segue distribuição normal, isto é,  $X_t \sim N(\mu_0, \sigma_0)$ , sob controlo, a carta CUSUM Gaussiana bilateral assume a seguinte formulação:

$$S_t^+ = \max(0; S_{t-1}^+ + X_t - \mu_0 - K), \quad (2.22)$$

$$S_t^- = \max(0; S_{t-1}^- - X_t + \mu_0 - K).$$

sendo que  $S_0^+$  e  $S_0^-$  podem assumir o valor 0 ou um valor de *head-start* usualmente estabelecido em  $H/2$ , sendo  $H$  uma constante denominada intervalo de decisão.

A decisão sobre o estado do processo depende do intervalo de decisão  $H$ . Caso a estatística de controlo  $S_t^+$  ou  $S_t^-$  exceda este valor, considera-se o processo fora de controlo estatístico.

Quando a carta emite um alarme indicativo de que o processo está fora de controlo, é feito o *reset* da estatística de controlo, a qual passa novamente a assumir o valor 0 ou um valor de *head-start* usualmente igual a  $H/2$ . Desta forma, o impacto das alterações é monitorizado de uma forma mais eficiente. Frequentemente, o valor de  $H$  é uma constante medida em múltiplos do desvio padrão da estatística de controlo.

Por sua vez,  $K$  é uma constante positiva, denominada valor de referência, que depende da dimensão da alteração que se pretende que a carta seja capaz de detetar rapidamente. Caso os desvios acumulados sejam inferiores a  $K$ , a carta assume o valor 0. Os valores de  $\mu_0$  e  $\sigma_0$  poderão ser definidos à partida como valores desejados ou estimados com recurso a dados históricos.

Frequentemente, o valor de  $K$  é escolhido como o ponto médio entre o valor alvo  $\mu_0$  e o valor de  $\mu$  a partir do qual se pretende que a carta detete a alteração, isto é, quando se considera o processo fora de controlo estatístico (Rogerson e Yamada, 2004 a). Se  $\mu_0$  denotar o valor médio do processo sob controlo e  $\mu_1$  o valor médio associado à situação de fora de controlo que é necessária detetar, então:

$$K = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2} \quad (2.23)$$

Os parâmetros  $K$  e  $H$  têm um enorme impacto no desempenho da carta, sendo a sua determinação um aspeto extremamente importante na construção da carta CUSUM.

Definindo  $H = h\sigma$  e  $K = k\sigma$ , em que  $\sigma$  é o desvio padrão da variável a monitorizar, a utilização de  $h = 4$  ou  $h = 5$  e  $k = 0,5$  conduz geralmente a uma carta CUSUM que tem

boas propriedades em termos de ARL face a uma alteração de  $1\sigma$  na média do processo (Montgomery, 2013).

Uma vantagem das cartas CUSUM é a sua capacidade em identificar quando ocorreu uma causa especial (Montgomery, 2013). Para tal, basta considerar o número de períodos  $N$  em que a estatística de controlo é diferente de 0. Saindo fora de controlo estatístico e havendo *reset* do processo, averigua-se o valor de  $N$ , o qual traduz o primeiro período após a ocorrência da mudança. Esta informação pode-se revelar importante para a tomada de decisões após o processo sair fora de controlo.

De referir ainda que, uma vez que os valores da estatística de controlo desta carta estão correlacionadas, as regras de *runs* e outros métodos semelhantes não devem ser aplicados (Montgomery, 2013).

### 2.6.2 Cartas EWMA

A *performance* das cartas EWMA é equivalente à das cartas CUSUM. Uma das vantagens deste tipo de cartas é o facto de serem relativamente mais fáceis de construir, utilizar e interpretar (Montgomery, 2013).

Estas cartas foram introduzidas por Roberts em 1959. A sua formulação assume a forma de uma equação recursiva, na qual as observações passadas são ponderadas com um determinado peso que varia entre 0 e 1. À observação atual é-lhe atribuída a ponderação complementar. Tipicamente confere-se menor peso a dados mais antigos, sendo que o peso para cada observação passada decresce exponencialmente (Unkel *et al.*, 2012).

A carta EWMA com base em valores individuais é então formulada da seguinte forma:

$$z_t = (1 - \lambda)z_{t-1} + \lambda X_t, \quad (2.24)$$

onde  $z_0 = \mu_0$ ,  $\lambda \in [0,1]$  é o parâmetro de ponderação e  $X_t$  o valor da característica de qualidade no instante  $t$ . Tal como no caso das cartas CUSUM,  $X_t \sim N(\mu_0, \sigma_0)$ , sob controlo. Analogamente, poderá definir-se uma carta EWMA baseada em médias amostrais  $\bar{X}_t$ , sendo que neste caso o valor de  $\sigma^2$  definido em (2.25) será diferente.

Uma vez que as cartas EWMA podem ser vistas como uma média ponderada de todas as observações passadas e da atual observação, é muito insensível ao pressuposto da normalidade. Desta forma, é uma carta de controlo ideal para monitorizar observações individuais (Montgomery, 2013).

Sendo as observações  $X_t$  variáveis aleatórias independentes com variância  $\sigma^2$ , a variância da estatística de controlo associada à carta é a seguinte:

$$\sigma_{z_t}^2 = \sigma_0^2 \left( \frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1-\lambda)^{2t}], \quad (2.25)$$

sendo  $\sigma_0$  o desvio padrão quando o processo está sob controlo.

Assim sendo, a carta EWMA é construída da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \mu_0 + L\sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2t}]}, \\ \text{LC} &= \mu_0, \\ \text{LIC} &= \mu_0 - L\sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2t}]}. \end{aligned} \quad (2.26)$$

onde  $\mu_0$  e  $\sigma_0$  denotam o valor médio e o desvio padrão da característica de qualidade sob controlo. O fator  $L$  é o múltiplo de  $\sigma_0$  utilizado para o cálculo dos limites de controlo. A escolha dos valores de  $\lambda$  e  $L$  é uma problemática muito importante na formulação da carta, devendo ser feita com cuidado.

À medida que  $t$  aumenta, o valor da expressão  $1 - (1-\lambda)^{2t}$  aproxima-se de 1. Assim sendo, os limites de controlo quando a carta EWMA para valores individuais já está em utilização há algum tempo, podem-se aproximar de valores estacionários dados por:

$$\text{LSC} = \mu_0 + L\sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \quad (2.27)$$

$$\text{LIC} = \mu_0 - L\sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}$$

Apesar de esta simplificação poder ser apelativa, é recomendada a utilização dos limites de controlo exatos no caso de  $t$  ser pequeno uma vez que conduz a uma melhoria significativa na *performance* da carta imediatamente após ter começado a ser usada (Montgomery, 2013).

## **Capítulo 3 - Base de dados: Isolamentos Microbianos**

Neste Capítulo, inicia-se o caso de estudo que será apresentado nesta dissertação. Incidindo sobre uma base de dados real, num primeiro momento procedeu-se às diligências necessárias para que os dados pudessem ser fornecidos para efeitos do estudo. Assim, foi submetida uma proposta de investigação ao Departamento de Ensino, Formação e Investigação (DEFI) do Centro Hospitalar do Porto (CHP), tendo a mesma sido aprovada pelo Conselho de Administração, pela Comissão de Ética e pelo DEFI. Com a autorização do Coordenador da Comissão de Controlo de Infeção (CCI) do CHP e da Enfermeira Chefe da CCI, e com o estabelecimento de Supervisora e Co-Supervisora no CHP, neste caso enfermeiras do núcleo executivo da CCI – Cristina Alexandra Fernandes e Paula Rodrigues respetivamente – foram criadas as condições necessárias para ter acesso aos dados. De referir ainda que todo o estudo analítico incidente sobre a base de dados foi sendo pautado com reuniões periódicas com a Supervisora e Co-Supervisora do CHP, onde se procurou conduzir os trabalhos no sentido da relevância epidemiológica, entendendo o interesse e a validade médica das conclusões que a análise dos dados permitiu retirar.

Num primeiro momento será levada a cabo uma descrição da base de dados e uma análise preliminar univariada sobre as principais variáveis de interesse. Posteriormente, através da construção de uma matriz de correlações identificam-se correlações entre pares de variáveis. Em seguida é desenvolvida uma Análise em Componentes Principais que permitirá representar graficamente os serviços hospitalares consoante determinadas características microbianas.

### **3.1 Descrição da base de dados**

A base de dados é constituída pelos isolamentos microbianos identificados em produtos biológicos analisados, provenientes de colheitas realizadas nos serviços de internamento. Através da análise das colheitas, o serviço de Microbiologia procura detetar a existência de microrganismos que possam provocar infeções. Posteriormente, a Comissão de Controlo de Infeção (CCI), organiza os resultados das análises por serviço clínico e valida ou não os

isolamentos como infecção hospitalar. Sobre a base de dados cedida pela Microbiologia, a CCI filtra os dados de acordo com o tempo de internamento e o nível de interesse epidemiológico. Será para a monitorização dos microrganismos identificados como mais relevantes pela CCI que as cartas de controlo têm um maior interesse potencial. O horizonte temporal dos dados é de 51 meses, ou seja, os anos de 2010, 2011, 2012 e 2013, e os três primeiros meses do ano de 2014.

Para cada isolamento é conhecido o Número do tubo, Ano do registo, Mês do registo, Data do registo, Serviço e Designação da estirpe.

Os dados estão agrupados por serviço clínico, de acordo com 57 designações diferentes que representam os serviços hospitalares. Foi levada a cabo uma categorização adicional de forma a compatibilizar o modo como a Comissão de Controlo de Infecção agrupa os dados. Dessa forma, passaram a ser consideradas 31 designações para os serviços hospitalares, sobre as quais todo o estudo incide. Por motivos de confidencialidade dos dados, estas designações foram ainda codificadas de S1 a S31.

De notar que cada amostra pode conter vários isolamentos de microrganismos. Assim, na globalidade das amostras foram isolados 24709 isolamentos. De referir ainda que foram detetadas ao longo do período em estudo 365 espécies diferentes de microrganismos nos diversos serviços. Para efeitos de análise estatística, as estirpes de microrganismos representam as variáveis e os serviços os indivíduos. Para o caso de estudo apresentado neste trabalho, a base de dados considerada refere-se a todos os microrganismos detetados em colheitas ao longo do horizonte temporal referido anteriormente.

### 3.2 Análise preliminar dos dados

#### Gêneros de Microrganismos

Dado o elevado número de variáveis e a frequência muito baixa da existência de determinados microrganismos, foi levada a cabo uma categorização adicional. Os microrganismos foram assim classificados por espécie, e posteriormente por género.

Apesar da vigilância epidemiológica ser geralmente feita pela espécie, a agregação dos dados segundo o género permitiu reduzir muito significativamente o número de variáveis. No entanto, tendo continuado ainda assim com 114 géneros diferentes, procedeu-se ao cálculo da frequência relativa de cada género no total dos 24709 isolamentos, e em seguida à média destes valores, tendo-se obtido o valor de 0,88%. De seguida, todos os géneros com um valor de frequência relativa inferior à média foram agrupados numa nova categoria denominada “Outros”. Conforme se pode observar no gráfico circular da Figura 3.1, foi possível reduzir o número de variáveis para 17, com uma categoria de “Outros” relativamente reduzida, com uma frequência relativa de 6,53%.

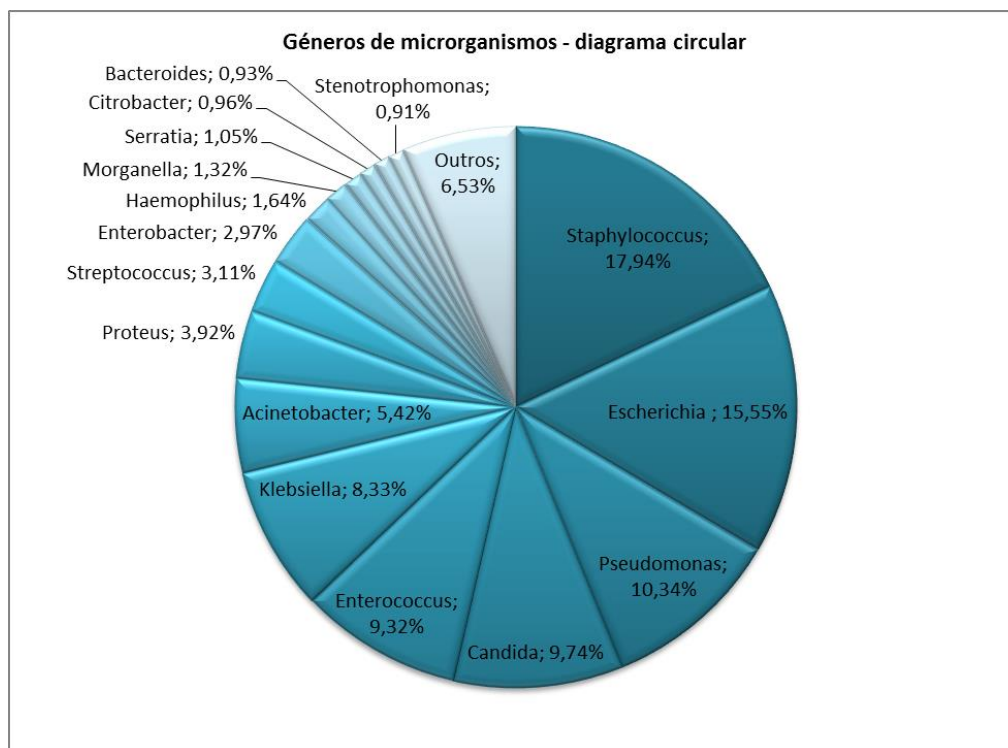


Figura 3.1 Frequência relativa do número de microrganismos detetados

Conforme se pode observar, o género *Staphylococcus* é o mais frequente, assumindo uma frequência relativa de 17,94%, o que corresponde a um total de 4433 isolamentos. Em segundo lugar, e também com uma representatividade muito significativa, o género *Escherichia* assume igualmente uma presença muito grande, com uma frequência relativa de 15,55%, o que perfaz um total de 3842 isolamentos em valor absoluto. Estas duas estirpes correspondem a 33,49% de todos os géneros detetados em colheitas, ou seja, são responsáveis por 8275 dos 24709 microrganismos observados em diferentes colheitas.

Sendo uma ferramenta muito utilizada na gestão da qualidade, construiu-se um Diagrama de Pareto por forma a evidenciar que uma pequena percentagem de microrganismos é responsável pela maior parte da variação dos géneros de microrganismos detetados. Na Figura 3.2 é possível observar que os microrganismos *Staphylococcus* (17,94%) e *Escherichia* (15,55%), conjuntamente com *Pseudomonas* (10,34%), *Candida* (9,74%), *Enterococcus* (9,32%), *Klebsiella* (8,33%) e *Proteus* (3,92%), correspondem a 80,56% de todos os agentes causadores de infeções hospitalares detetados no período em estudo.

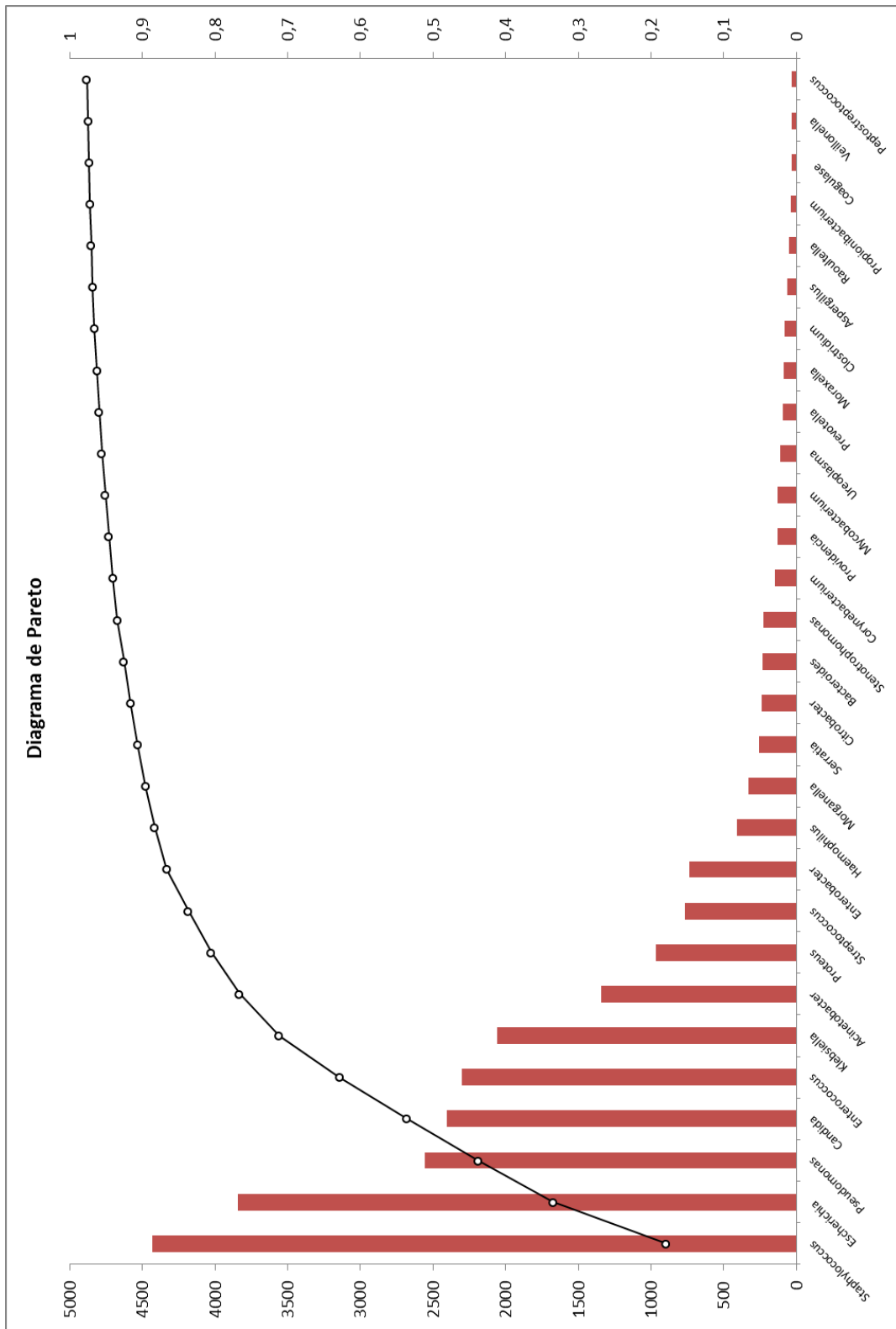


Figura 3.2 Diagrama de Pareto – Géneros de microorganismos

- Medidas de localização e dispersão -

Recorrendo ao *software* SPSS foi possível obter um quadro resumo de estatísticas sumárias com as principais medidas de localização e dispersão. A Tabela 3.1 apresenta assim as principais medidas de localização, dispersão, assimetria e achatamento dos géneros de microrganismos destacados na análise de Pareto.

		<i>Staphylococcus</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Candida</i>
N.º Serviços	Com isolamentos	31	31	30	30
	Sem isolamentos	0	0	1	1
Total isolamentos		4433	3842	2554	2407
Média		143,0	123,9	85,1	80,2
Mediana		118,0	120,0	59,0	49,5
Desvio Padrão		121,6	85,3	76,8	80,0
Amplitude		412	290	319	290
Coeficiente de variação		85,0%	68,8%	90,3%	99,7%
Amplitude Inter-quartis		122,5	126,0	90,8	76,3
Skewness		1,1	0,5	1,4	1,4
Kurtosis		0,4	-0,8	1,9	0,9
Mínimo		13	5	3	4
Máximo		425	295	322	294
Percentis	5	14,5	15,0	6,9	9,7
	25	62,0	47,0	28,5	26,3
	50	118,0	120,0	59,0	49,5
	75	184,5	173,0	119,3	102,5
	95	410,5	280,0	224,9	239,4

(continua)

		<i>Enterococcus</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Acinetobacter</i>	<i>Proteus</i>
Nº Serviços	Com isolamentos	31	30	28	31
	Sem isolamentos	0	1	3	0
Total isolamentos		2303	2059	1340	968
Média		74,3	68,6	47,9	31,2
Mediana		42,0	46,0	25,5	24,0
Desvio Padrão		69,9	52,4	73,0	26,7
Amplitude		275	177	377	98
Coeficiente de variação		94,1%	76,3%	152,5%	85,6%
Amplitude Inter-quartis		83,0	77,5	48,5	34,0
Skewness		1,3	0,6	3,7	1,2
Kurtosis		1,3	-0,8	16,1	0,6
Mínimo		3	2	1	2
Máximo		278	179	378	100
Percentis	5	7,5	8,4	1,4	5,0
	25	23,0	26,3	9,8	9,0
	50	42,0	46,0	25,5	24,0
	75	106,0	103,8	58,3	43,0
	95	202,5	160,8	114,3	87,5

Tabela 3.1 Estatísticas sumárias associadas aos principais géneros de microrganismos

Começou-se por analisar em detalhe o caso da variável *Staphylococcus* uma vez que tal como já foi dito, é o género mais frequente. Em primeiro lugar, de notar que está presente em todos os serviços hospitalares que estão a ser considerados para o estudo. Desta forma, é possível concluir que é um microrganismo importante a ser controlado dada a sua representatividade na globalidade do centro hospitalar. Da leitura da Tabela 3.1 resulta ainda que, em média, foram identificados por serviço 143 microrganismos do género *Staphylococcus*.

Apesar de ser uma das medidas de localização mais usuais, muitas vezes o valor da média não permite retirar conclusões muito verosímeis uma vez que é uma medida de localização muito sensível a *outliers*, ou seja, a valores extremos. Será de interesse identificar os serviços com valores atípicos, sendo estes casos em que a utilização de cartas de controlo pode assumir um papel importante como método para detetar precocemente a ocorrência de surtos infecciosos.

Sendo uma medida de localização mais resistente a valores extremos, a mediana conduz a uma interpretação dos dados adequada na presença de *outliers* ou de uma distribuição muito assimétrica. Conforme se pode observar pela Tabela 3.1, 50% dos serviços apresentam um valor de isolamentos de *Staphylococcus* superior a 118. Desta forma, é possível detetar o efeito inflacionário que determinados valores mais elevados e pontuais provocaram sobre a média. É assim esperado que exista uma dispersão elevada nos valores que esta variável assume, o que significa contextualmente que é esperado que em alguns serviços hospitalares exista um número de isolamentos de *Staphylococcus* bastante superior do que noutros. Desta forma, situações atípicas podem induzir em erro face ao verdadeiro comportamento da variável, nomeadamente face à localização dos dados.

A mesma conclusão é corroborada pelo elevado valor do desvio padrão que ascende a 121,6 o que significa que a frequência deste microrganismo nos serviços é muito dispersa em torno da média. A disparidade entre o número de isolamentos de *Staphylococcus* nos vários serviços hospitalares é visível atentando-se à amplitude da variável. O valor de 412 permite concluir que a diferença entre o serviço com menos isolamentos (valor mínimo 13) e o serviço com mais isolamentos (valor máximo 425) é bastante elevada. Uma vez que o desvio padrão também é influenciado por valores extremos, o coeficiente de variação é uma medida mais adequada pois também toma em consideração a média. Contrariamente à amplitude, o coeficiente de variação é uma medida relativa e não absoluta, sendo de 85% para esta variável. Este valor evidencia mais uma vez uma grande variabilidade no número de microrganismos do género *Staphylococcus* detetados nos diversos serviços.

Uma medida ainda mais robusta é a amplitude inter-quartil, obtida pela diferença entre o valor do 3º quartil e do 1º quartil.

Os valores do 1º quartil e 3º quartil são respetivamente de 62 e 184,5, o que significa que metade dos serviços hospitalares apresenta um valor de isolamentos de *Staphylococcus* que está compreendido entre estes valores. A amplitude inter-quartil é mais resistente a valores extremos do que a simples amplitude amostral. Assumindo o valor 122,5, continua-se a verificar que, mesmo tendo sido o efeito dos valores extremos suavizado, existem ainda assim significativas diferenças entre os diversos serviços. Na Figura 3.3 é apresentado um *boxplot*, usualmente designado por “Caixa de Bigodes” onde se pode observar graficamente não só a amplitude inter-quartil, a localização e dispersão dos dados, como também a existência de *outliers*.

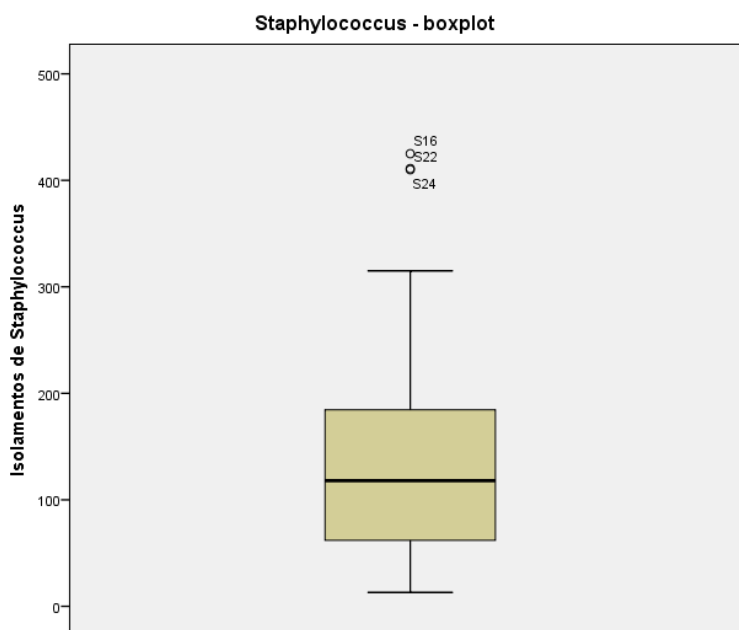


Figura 3.3 *Boxplot* associado ao género *Staphylococcus*

Através da representação *boxplot*, é possível observar os valores dos quartis. O limite inferior da “caixa” é o 1º quartil, e o limite superior é o 3º quartil. No interior, está o 2º quartil que corresponde à mediana. Pela análise do *boxplot* da Figura 3.3 é possível observar a existência de três *outliers* moderados, isto é, serviços hospitalares onde foi detetado um número de microrganismos do género *Staphylococcus* bastante superior ao observado nos restantes serviços. Estes são os serviços S24, S22 e S16.

Na Tabela 3.1 encontram-se ainda os percentis 5% e 95%, que ascendem a 14,5 e 410,5 respetivamente. Assim, apenas 5% dos serviços apresentam um número de isolamentos muito reduzido, inferior ou igual a 14,5; e 5% ultrapassam o valor de 410,5 isolamentos. Para além do género *Staphylococcus*, construíram-se ainda *boxplots* para os principais géneros de microrganismos destacados anteriormente, os quais se apresentam na Figura 3.4, através da qual é possível analisar individualmente a dispersão de cada género. Desta forma, para além de evidenciar os *outliers*, é ainda possível contrastar os valores dos quartis e da amplitude inter-quartil das diversas variáveis. É importante ter em consideração que, sendo o número de isolamentos de cada género diferente, a comparação entre os microrganismos deve ser feita com cuidado.

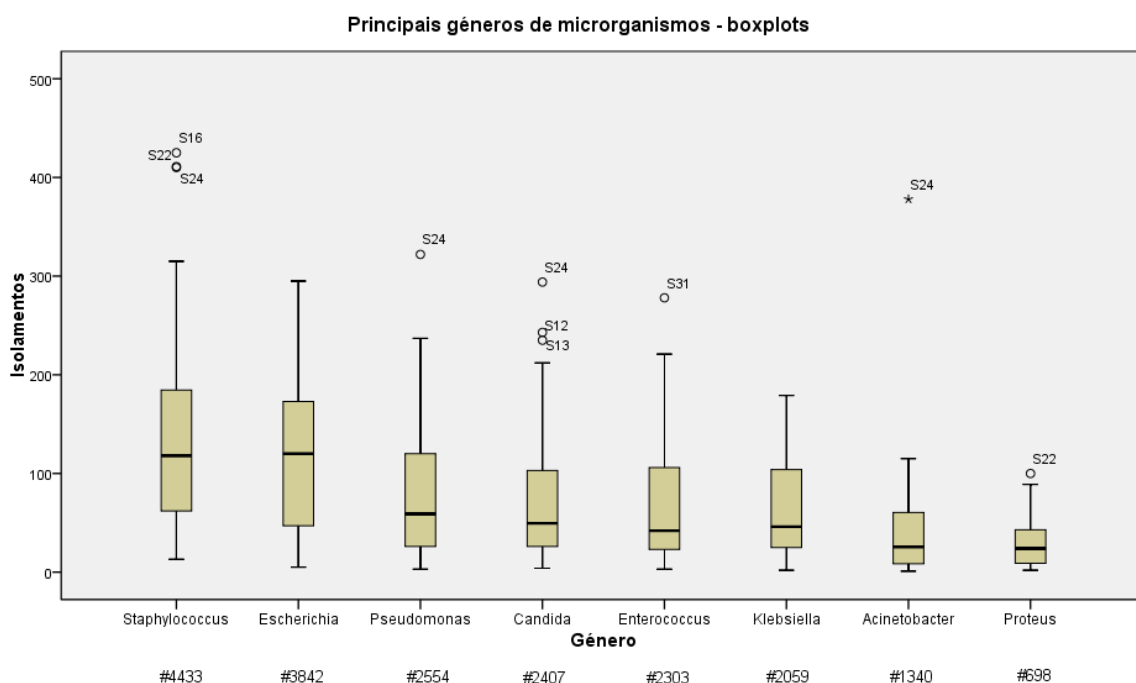


Figura 3.4 *Boxplots* associados aos principais géneros de microrganismos

Pela Figura 3.4 identifica-se que relativamente a estes microrganismos os serviços atípicos são apenas cinco: S12, S13, S16, S22, S24, S31. Sendo assim, é possível antever que estes serviços hospitalares requerem especial atenção sendo serviços com um elevado número de isolamentos destes microrganismos mais frequentes.

- Estudo da forma -

É igualmente de interesse analisar o comportamento das variáveis quanto à Assimetria e/ou quanto ao Achatamento ou *Kurtosis*. O estudo da forma possibilita não só analisar uma distribuição quanto à relação entre as suas medidas de localização como a média, mediana e moda, como também evidenciar o grau de achatamento da distribuição, medindo o “peso” das suas caudas. Através da construção de um histograma para a variável *Staphylococcus*, facilmente se visualiza que existe uma maior concentração de observações em torno de valores mais baixos.

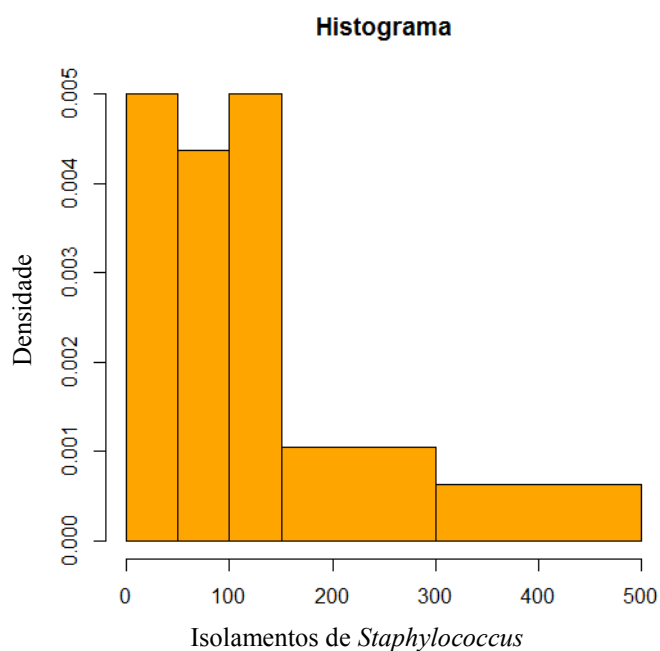


Figura 3.5 Histograma do género *Staphylococcus*

Mesmo visualmente, através da Figura 3.5 é possível verificar que a distribuição que o número de isolamentos por serviço de microrganismos do género *Staphylococcus* segue não é simétrica. Os valores de *Skewness* e *Kurtosis* são medidas de assimetria e achatamento respetivamente. De notar que o SPSS fornece o coeficiente de assimetria de Fisher como medida de assimetria e o valor da *Kurtosis* como medida de achatamento. O valor do coeficiente de Fisher toma o valor de 1,1 significando este valor positivo que a distribuição é assimétrica positiva (predominância de valores baixos).

Por sua vez, a *Kurtosis* traduz o “peso” da cauda da distribuição comparativamente à distribuição normal. Para o caso da variável *Staphylococcus*, a estatística de *Kurtosis* toma o valor de 0,4 o que significa que a sua distribuição é ligeiramente menos achatada que a distribuição normal. No entanto, é preciso ter em consideração que uma vez que a distribuição é bastante assimétrica, a interpretação deste coeficiente não é muito adequada neste caso.

#### - Ajustamento de distribuições -

É igualmente de interesse verificar se a distribuição das variáveis se aproxima de alguma distribuição teórica já conhecida. A distribuição que a variável segue tem importantes implicações na construção das cartas de controlo, nomeadamente ao nível das medidas de *performance*, em que para o cálculo da taxa de falsos alarmes o conhecimento da distribuição é necessária.

De notar que neste momento as variáveis que estão a ser alvo desta análise univariada não coincidem exactamente com as variáveis que vão ser usadas nas cartas de controlo. O objetivo do estudo é a monitorização da evolução do número de isolamentos dos agentes causadores de infeções hospitalares apresentados ao longo do tempo. Para a construção das cartas serão ainda considerados períodos de agregação diferentes, nomeadamente mensais, semanais e diários ao longo de determinados períodos. Seria viável assumir que o número de microrganismos detetados pode ser bem modelado por uma distribuição de Poisson. No entanto, de notar que diferentes períodos de agregação conduzem a diferentes comportamentos da variável. A título de exemplo, considere-se que proceder à agregação mensal, conduz a que o parâmetro da distribuição seja mais elevado do que no caso de se ter optado pela agregação semanal, por exemplo.

Sendo o objetivo do presente Capítulo evidenciar quais os microrganismos que se observam com maior frequência e em que serviços hospitalares, atentando-se para o efeito ao número de isolamentos por serviço hospitalar, o ajustamento de distribuições a estas variáveis não é particularmente relevante. Posteriormente, com a criação de novas variáveis

sobre a evolução temporal do número de isolamentos de microrganismos no hospital ou em determinados serviços segundo um determinado período de agregação estabelecido, a análise do ajustamento de distribuições será levada a cabo, sendo de extrema importância.

### Espécies de Microrganismos

Apesar do tratamento inicial ter permitido reduzir o número de variáveis, é importante ter em consideração que pode ter ocorrido simultaneamente alguma perda de informação. Consciente de que a categorização segundo o género corresponde a uma agregação adicional sobre a base de dados original, a qual cria uma deterioração na qualidade da informação, foi levada a cabo igualmente uma análise descritiva sobre os dados sem esta categorização adicional.

Relativamente às espécies de microrganismos, verificou-se que a estirpe *Escherichia coli* foi claramente a mais incidente com um total de 3828 isolamentos de microrganismos detetados, o que corresponde a 15,5% de todos os isolamentos na globalidade dos serviços no período em estudo. A Tabela 3.2 apresenta as espécies mais frequentemente detetadas e as respetivas frequências relativas e acumuladas.

<i>Espécies de microrganismos</i>	<i>número de isolamentos</i>	<i>frequência relativa</i>	<i>frequência relativa acumulada</i>
<i>Escherichia coli</i>	3828	15,5%	15,5%
<i>Staphylococcus aureus</i>	2583	10,5%	25,9%
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2494	10,1%	36,0%
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1832	7,4%	43,5%
<i>Enterococcus faecalis</i>	1426	5,8%	49,2%
<i>Candida albicans</i>	1373	5,6%	54,8%
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1246	5,0%	59,8%

Tabela 3.2 Frequência absoluta, relativa e relativa acumulada de microrganismos por espécie

Seguindo-se à espécie *Escherichia coli*, a espécie *Staphylococcus aureus* apresenta também valores bastante elevados com uma frequência relativa de 10,5%, o que permite

concluir que cerca de um quarto dos microrganismos detetados pertencem a estas duas estirpes. Conjuntamente com os microrganismos *Pseudomonas aeruginosa* (10,1%), *Klebsiella pneumoniae* (7,4%), *Enterococcus faecalis* (5,8%), *Candida albicans* (5,6%) e *Staphylococcus epidermidis* (5,0%), este grupo representa 59,8% das espécies de microrganismos detetadas, ou seja, mais de metade de todos os microrganismos que foram detetados no centro hospitalar no período em análise. Apesar dos resultados estarem de acordo com o que foi analisado anteriormente com um nível de agregação por género, foi possível evidenciar desta forma quais as espécies que são responsáveis pelos elevados valores do género em causa. De notar que apesar do género *Staphylococcus* ter sido o mais observado, os seus valores elevados devem-se a duas espécies diferentes – *aureus* e *epidermidis* – sendo a primeira a mais frequente.

A monitorização da espécie *Staphylococcus aureus* assume grande importância. Tem-se verificado ao longo do tempo o aparecimento de estirpes desta espécie resistentes à meticilina. Em diálogo com as supervisoras do núcleo executivo da Comissão de Controlo de Infecção, foi referido que analisar a evolução da proporção de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina na totalidade de *Staphylococcus aureus* detetados é extremamente relevante.

Relativamente ao género *Escherichia*, os elevados valores devem-se quase exclusivamente à espécie *coli*. Desta forma, o microrganismo *Escherichia coli* é de grande relevância, sendo o mais significativo na globalidade das espécies. Recorrendo ao *software* SPSS foi possível obter a Tabela 3.3 que contém as principais medidas de localização, dispersão, assimetria e achatamento das espécies de microrganismos destacadas na Tabela 3.2.

		<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
Nº Serviços	Com isolamentos	31	31	30	31
	Sem isolamentos	0	0	1	0
Total isolamentos		3828	2583	2494	1832
Média		123,5	83,3	83,1	59,1
Mediana		120,0	55,0	57,0	34,0
Desvio Padrão		84,9	77,7	75,2	48,8
Amplitude		289	259	311	168
Coeficiente de variação		68,7%	93,3%	90,5%	82,6%
Amplitude Inter-quartis		125	74	90	76
Skewness		0,5	1,2	1,4	0,6
Kurtosis		-0,8	0,4	1,9	-0,7
Mínimo		5	1	3	0
Máximo		294	260	314	168
Percentis	5	15,0	8,0	6,4	3,0
	25	47,0	30,0	27,8	20,0
	50	120,0	55,0	57,0	34,0
	75	172,0	103,5	118,0	95,5
	95	278,5	255,0	222,4	144,5

(continua)

		<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Candida albicans</i>	<i>Staphylococcus epidermidis</i>
Nº Serviços	Com isolamentos	31	30	31
	Sem isolamentos	0	1	0
Total isolamentos		1426	1373	1246
Média		46,0	45,8	40,2
Mediana		35,0	29,0	26,0
Desvio Padrão		37,8	44,6	53,5
Amplitude		160	154	286
Coeficiente de variação		82,2%	97,5%	133,1%
Amplitude Inter-quartis		52,5	41,8	26,0
Skewness		1,1	1,3	3,6
Kurtosis		1,3	0,4	15,5
Mínimo		2	2	1
Máximo		162	156	287
Percentis	5	6,5	5,8	3,0
	25	15,0	14,5	13,5
	50	35,0	29,0	26,0
	75	67,5	56,3	39,5
	95	101,0	132,6	106,5

Tabela 3.3 Estatísticas sumárias associadas às principais espécies de microrganismos

Em relação ao microrganismo *Escherichia coli*, cuja importância se destaca, em média foram identificados por serviço 123,5 isolamentos desta estirpe. O valor da mediana é de 120, significando que 50% dos serviços apresentam um número de isolamentos de *Escherichia coli* superior a 120. Mais uma vez é possível detetar o efeito inflacionário que determinados serviços com um maior número de isolamentos de *Escherichia coli* provocaram sobre a média.

A disparidade entre o número de microrganismos de *Escherichia coli* detetados nos vários serviços é mais uma vez visível atentando-se à amplitude da variável. O valor de 289 permite concluir que a diferença entre o serviço com menos isolamentos (valor mínimo 5) e o serviço com mais isolamentos (valor máximo 294) é bastante significativa. Os valores do 1º e 3º quartis são de respetivamente 47 e 172, o que significa que metade dos serviços

apresentam um valor de isolamentos de *Escherichia coli* que está compreendido entre esses valores. Na Figura 3.6 são apresentados *boxplots* para todas as espécies em destaque.

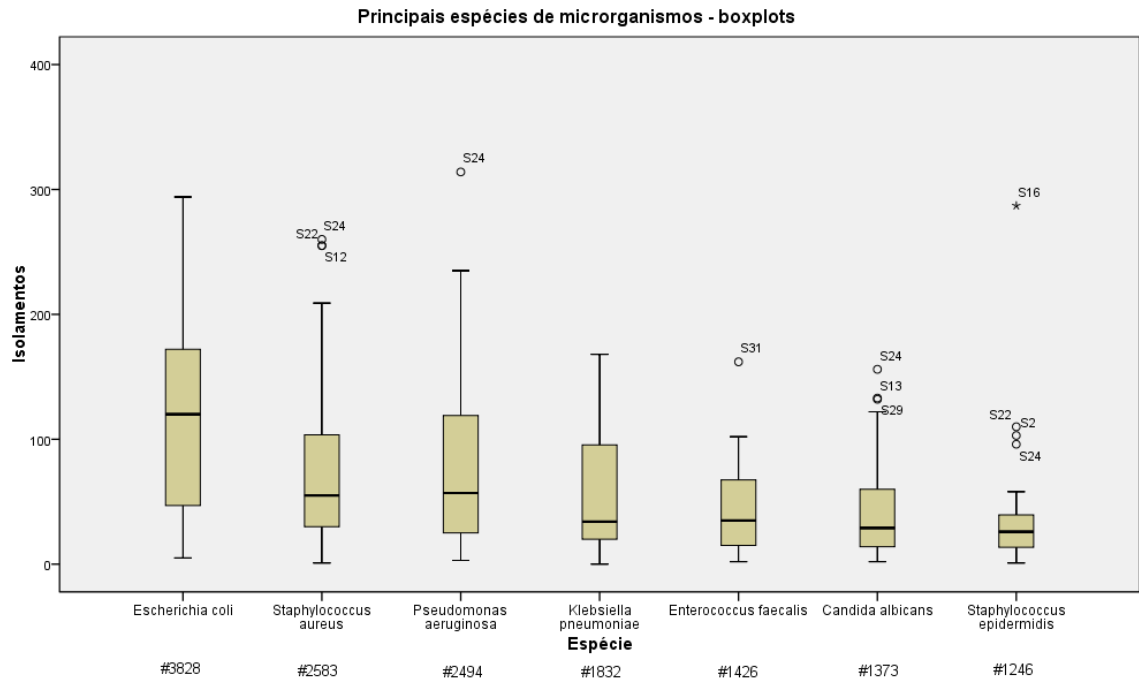


Figura 3.6 *Boxplots* das principais espécies de microrganismos

Apesar de se verificar a ausência de *outliers* no caso dos microrganismos *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae*, todos os restantes microrganismos em destaque apontam para a existência de serviços atípicos. De referir que no caso do microrganismo *Staphylococcus epidermidis* existe mesmo um *outlier* severo – o serviço S16 – significando que se trata de um número muito elevado de isolamentos desta espécie que relativamente ao número de isolamentos observados para as restantes espécies, quer para os restantes serviços.

## Serviços Hospitalares

Paralelamente à análise dos microrganismos foi desenvolvida uma análise univariada relativamente aos serviços hospitalares, procurando-se evidenciar quais os serviços onde são detetados mais isolamentos. Será nesses serviços que a utilização de cartas de controlo pode conduzir a melhorias mais significativas.

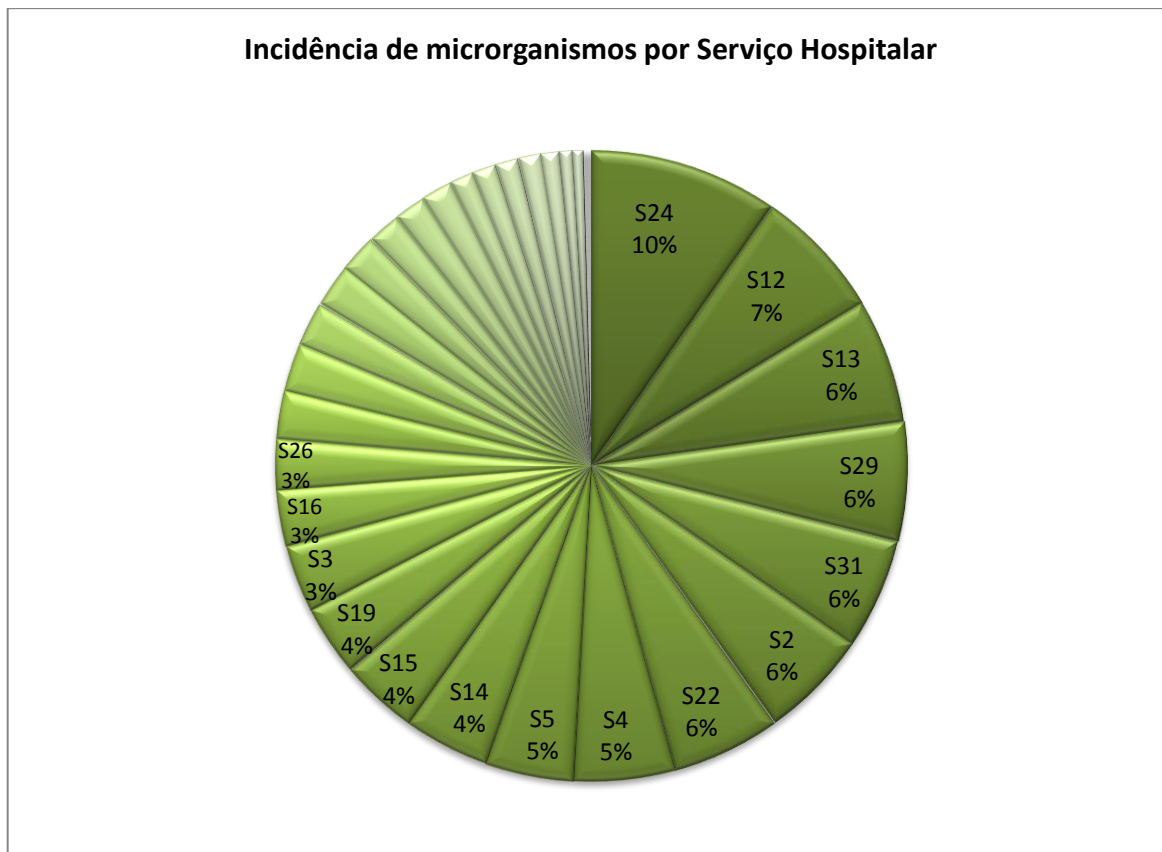


Figura 3.7 Gráfico circular da frequência relativa de isolamentos por serviço hospitalar

Quanto aos Serviços considerados, o serviço S24 é o que regista o maior número de isolamentos de microrganismos, tendo sido detetados 2387 agentes causadores de infeções hospitalares, o que corresponde a 9,7% do total. Assumindo um valor próximo, o serviço S12 (6,7%) é igualmente um dos serviços com um valor elevado de isolamentos de microrganismos. Juntamente com o serviço S13 (6,4%) e S29 (6,1%), estes quatro serviços são responsáveis por 28,9% dos microrganismos detetados, ou seja, mais de um quarto de todos os isolamentos surgem nestes serviços.

A construção de *boxplots* face aos serviços pode também ser vantajosa para evidenciar os microrganismos que apresentam valores muito elevados em determinados serviços. Mais uma vez de referir que é importante ter em consideração que, sendo o número de isolamentos detetados em cada serviço diferente, a comparação entre serviços deve ser feita com cuidado. Na Figura 3.8 encontram-se os *boxplots* referentes aos serviços hospitalares que, no seu conjunto, representam cerca de 50% de todos os isolamentos de microrganismos, ou seja, S24, S12, S13, S29, S31, S2, S22 e S4, através da qual é possível analisar individualmente a dispersão de cada serviço.

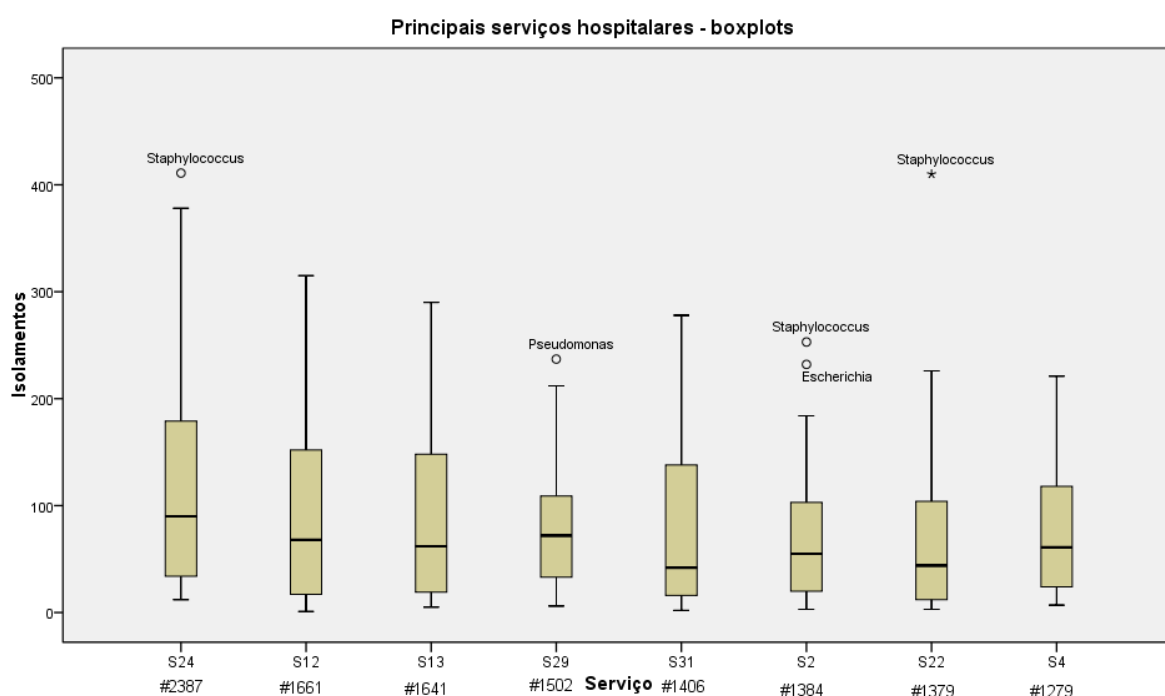


Figura 3.8 *Boxplots* dos serviços hospitalares com mais isolamentos

Da análise da Figura 3.8 destacam-se os serviços S24, S29, S2 e S22. Enquanto no serviço S24 existe um valor elevado de isolamentos de microrganismos do género *Staphylococcus*, no serviço S29 existe um valor elevado de isolamentos de microrganismos do género *Pseudomonas*. Por sua vez, no serviço S2 existe um valor elevado de isolamentos de microrganismos dos géneros *Escherichia* e *Staphylococcus*. Nestes casos, estes microrganismos são *outliers* moderados. Já no serviço S22, apenas existe um *outlier*,

sendo este o género *Staphylococcus*. No entanto, de notar que apesar de único, este é um *outlier* severo, isto é, trata-se de um número muito elevado de isolamentos deste género relativamente ao número de isolamentos observados para os restantes géneros.

### **3.3 Análise em Componentes Principais**

Tendo a dimensionalidade da base de dados sido reduzida através da agregação dos microrganismos segundo o género, o número de variáveis resultante – 17 – é ainda significativo. O método da Análise em Componentes Principais (ACP) é uma técnica de análise de dados multivariada muito usual, aplicável a variáveis quantitativas, e utilizada para reduzir a dimensão da base de dados através da criação de novas variáveis que são combinações lineares das variáveis originais. As novas variáveis criadas são denominadas Componentes Principais, devendo as  $q$  primeiras componentes principais explicar grande parte da variância total. Apesar das variáveis estarem expressas na mesma unidade de medida, ou seja, indicarem o número de isolamentos de microrganismos por serviço hospitalar, optou-se por se desenvolver uma ACP normalizada uma vez que as variáveis têm ordens de grandeza muito diferentes. A ACP foi assim levada a cabo recorrendo ao *software* SPAD. Pela matriz de correlações que se encontra na Tabela 3.4, um dos primeiros *outputs* apresentado pelo programa, é possível verificar a existência de forte correlação entre algumas variáveis, um dos pressupostos fundamentais para a realização da análise.

	Acinetobacter	Bacteroides	Candida	Citrobacter	Enterobacter	Enterococcus	Escherichia	Haemophilus	Klebsiella	Morganella	Outros	Proteus	Pseudomonas	Serratia	Staphylococcus	Stenotrophomonas	Streptococcus
Acinetobacter	1,000																
Bacteroides	0,199	1,000															
Candida	0,780	0,137	1,000														
Citrobacter	0,274	0,640	0,390	1,000													
Enterobacter	0,742	0,445	0,718	0,590	1,000												
Enterococcus	0,469	0,592	0,566	0,778	0,674	1,000											
Escherichia	0,347	0,366	0,581	0,515	0,495	0,678	1,000										
Haemophilus	0,407	-0,051	0,544	0,094	0,588	0,063	0,072	1,000									
Klebsiella	0,638	0,256	0,759	0,519	0,696	0,649	0,778	0,276	1,000								
Morganella	0,403	0,104	0,466	0,392	0,572	0,500	0,555	0,189	0,535	1,000							
Outros	0,263	0,396	0,345	0,336	0,470	0,497	0,387	0,239	0,266	0,329	1,000						
Proteus	0,222	0,144	0,374	0,439	0,390	0,500	0,783	-0,001	0,525	0,822	0,305	1,000					
Pseudomonas	0,807	0,143	0,900	0,445	0,843	0,614	0,604	0,572	0,784	0,685	0,351	0,541	1,000				
Serratia	0,556	0,032	0,521	0,385	0,567	0,298	0,143	0,543	0,330	0,347	0,279	0,206	0,576	1,000			
Staphylococcus	0,573	0,205	0,572	0,368	0,590	0,472	0,489	0,315	0,475	0,544	0,408	0,563	0,640	0,676	1,000		
Stenotrophomonas	0,707	0,164	0,553	0,319	0,770	0,268	0,068	0,698	0,422	0,295	0,303	0,034	0,621	0,664	0,387	1,000	
Streptococcus	0,170	0,529	0,281	0,472	0,516	0,458	0,318	0,264	0,201	0,185	0,863	0,203	0,268	0,363	0,366	0,327	1,000

Tabela 3.4 Matriz de correlações entre os gêneros de microrganismos

O valor do coeficiente de correlação linear está compreendido entre -1 e 1, podendo ser interpretado como a intensidade da associação linear entre as variáveis, significando os extremos correlação linear negativa perfeita e correlação linear positiva perfeita respectivamente. Caso assuma o valor 0, conclui-se pela ausência de correlação linear. Para facilitar a leitura da Tabela 3.4, as células foram pintadas segundo um gradiente de cores, significando as cores mais escuras, maior correlação linear. Um valor do coeficiente de correlação linear inferior a 0,6 foi considerado relativamente reduzido, tendo sido essas células deixadas por pintar.

É possível identificar imediatamente que uma das variáveis apresenta correlação linear bastante forte face a outras. O gênero *Pseudomonas* assume forte correlação linear positiva com o gênero *Candida*, com um coeficiente de correlação linear que se cifra em 0,9. De notar que a interpretação do significado das correlações entre os diversos gêneros de microrganismos deve ser feita com cuidado. Uma vez que o espaço temporal é muito alargado, consequência da agregação do número de isolamentos ao longo do período em

estudo, não se pode afirmar que é de esperar que quando o número de isolamentos de microrganismos do género *Pseudomonas* aumente, o número de isolamentos de microrganismos do género *Candida* também aumente. No entanto, é possível concluir que durante o período em estudo, serviços com elevados valores de *Candida* também apresentaram elevados valores de *Pseudomonas*.

O diagrama de dispersão apresentado na Figura 3.9 foi construído através do SPSS e permite evidenciar graficamente a forte correlação linear positiva entre estes dois géneros.

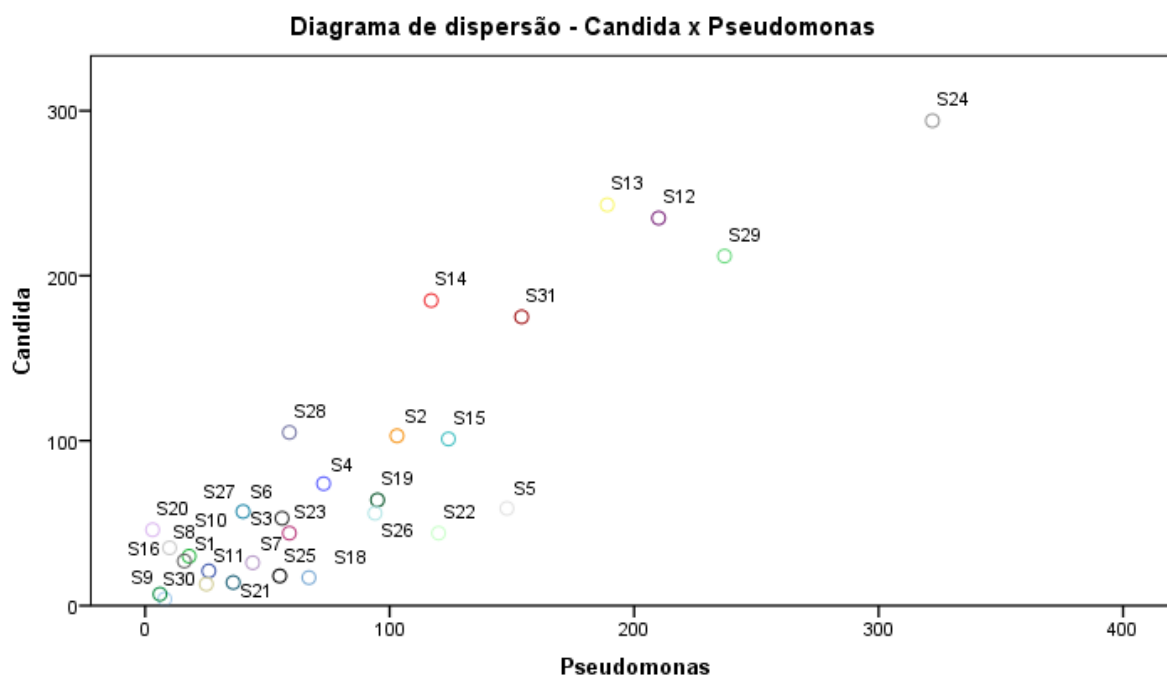


Figura 3.9 Diagrama de dispersão das variáveis *Pseudomonas* e *Candida*

Assumindo também um valor elevado, ainda que não tão elevado, o valor de 0,84 acusa uma forte correlação linear positiva entre o género *Pseudomonas* e o género *Enterobacter*. Seguindo-se a estes microrganismos, de referir ainda os géneros *Acinetobacter* e *Klebsiella*, que apresentam ainda forte correlação linear com o género *Pseudomonas*, com um valor do coeficiente de correlação linear de 0,81 e 0,78 respetivamente. Por sua vez, é igualmente evidenciada forte correlação linear entre os géneros *Proteus* e *Morganella* com um coeficiente de correlação linear de 0,82. No Anexo A.1 - Anexo Capítulo 3 é possível observar os restantes diagramas de dispersão construídos para os pares de géneros

destacados a cor na Tabela 3.4. Na Tabela 3.5 figuram os valores próprios, a percentagem de inércia explicada e inércia acumulada de cada eixo na ACP realizada.

<b>Eixo</b>	<b>Valor Próprio</b>	<b>Percentagem Inércia</b>	<b>Percentagem Inércia acumulada</b>
1	8,3	49,0	49,0
2	2,4	14,2	63,2
3	1,9	11,1	74,3
4	1,1	6,7	81,0
5	0,8	4,7	85,7
6	0,6	3,6	89,3
7	0,5	3,0	92,3
8	0,4	2,2	94,5
9	0,3	1,6	96,1
10	0,2	1,0	97,1
11	0,1	0,8	97,9
12	0,1	0,7	98,6
13	0,1	0,6	99,2
14	0,1	0,4	99,6
15	0,0	0,2	99,8
16	0,0	0,1	99,9
17	0,0	0,1	100,0

Tabela 3.5 Valores próprios, percentagem de inércia explicada e percentagem de inércia acumulada.

Existem vários critérios para a escolha do número de eixos a reter. Em primeiro lugar, o critério de Pearson refere que se deve reter um número de eixos que explique no seu conjunto pelo menos 80% da inércia, ou seja, da variabilidade dos dados. Conforme se pode ver na Tabela 3.5, segundo este critério deverão ser retidos quatro eixos, que explicam 81% da inércia. No critério de Cattell é dito que se deve atentar ao ponto onde os valores próprios começam a apresentar uma tendência aproximadamente constante (geralmente este ponto é chamado de cotovelo). Devem ser retidos os eixos até esse ponto inclusive. Pela leitura da Figura 3.10 que representa os 17 primeiros valores próprios, conclui-se que segundo este critério deverão ser retidos dois ou quatro eixos.

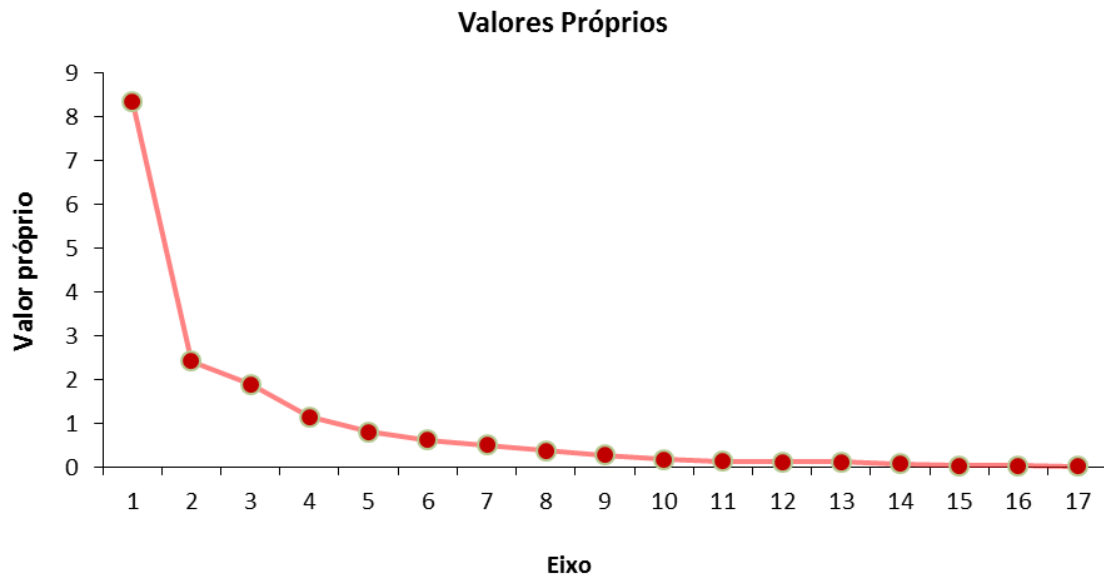


Figura 3.10 Representação dos Valores Próprios

Tendo sido levada a cabo uma ACP normalizada, procedeu-se também à análise do critério de Kaiser. Este afirma que devem ser retidos todos os valores próprios superiores a 1. De acordo com a Tabela 3.5, conclui-se que, segundo este critério, devem ser retidos quatro eixos. Sendo corroborado pelos critérios de Pearson e de Cattell, decidiu-se então reter os quatro primeiros eixos. A Tabela 3.6 contém as coordenadas das variáveis que coincidem com as correlações entre as variáveis e as componentes principais.

Variáveis	Correlação Variável - Fator (Coordenadas)					Vetores próprios normalizados				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Acin - Acinetobacter	0,75	0,38	-0,1	-0,25	0,02	0,26	0,25	-0,07	-0,23	0,03
Bact - Bacteroides	0,42	-0,5	0,52	-0,36	-0,12	0,14	-0,32	0,38	-0,34	-0,14
Cand - Candida	0,83	0,24	-0,18	-0,14	0,25	0,29	0,16	-0,13	-0,13	0,28
Citr - Citrobacter	0,66	-0,4	0,23	-0,26	-0,36	0,23	-0,26	0,16	-0,24	-0,41
Ente - Enterobacter	0,91	0,15	0,15	-0,13	0	0,32	0,1	0,11	-0,13	0
Ente - Enterococcus	0,77	-0,43	0,08	-0,24	-0,06	0,27	-0,27	0,06	-0,22	-0,06
Esch - Escherichia	0,7	-0,49	-0,31	-0,02	0,23	0,24	-0,31	-0,23	-0,01	0,26
Haem - Haemophilus	0,49	0,65	0,16	0,11	0,19	0,17	0,42	0,12	0,1	0,21
Kleb - Klebsiella	0,8	-0,08	-0,31	-0,29	0,2	0,28	-0,05	-0,22	-0,27	0,22
Morg - Morganella	0,69	-0,17	-0,41	0,31	-0,13	0,24	-0,11	-0,3	0,29	-0,14
Outr - Outros	0,57	-0,23	0,51	0,42	0,34	0,2	-0,15	0,37	0,39	0,38
Prot - Proteus	0,61	-0,45	-0,47	0,35	-0,09	0,21	-0,29	-0,34	0,33	-0,1
Pseu - Pseudomonas	0,91	0,22	-0,25	-0,05	0,1	0,32	0,14	-0,18	-0,05	0,12
Serr - Serratia	0,64	0,45	0,13	0,24	-0,44	0,22	0,29	0,1	0,22	-0,49
Stap - Staphylococcus	0,74	0,05	-0,1	0,34	-0,28	0,26	0,03	-0,07	0,32	-0,32
Sten - Stenotrophomonas	0,65	0,59	0,26	-0,11	-0,08	0,22	0,38	0,19	-0,1	-0,09
Stre - Streptococcus	0,54	-0,23	0,69	0,32	0,16	0,19	-0,15	0,5	0,3	0,19

Tabela 3.6 Correlações fatores-variáveis e vetores próprios normalizados

Antes de se proceder à leitura da Tabela 3.6, é importante referir dois conceitos fundamentais para a sua interpretação. A contribuição absoluta (*CTA*) de uma variável representa a sua contribuição para a formação do eixo, sendo obtida pelo quadrado dos valores dos vectores próprios normalizados. Por sua vez, a contribuição relativa (*CTR*) de uma variável diz respeito à qualidade da sua representação no eixo, e para dados normalizados é calculada pelo quadrado da correlação entre a componente principal em análise e a variável no eixo.

Irá ser considerado que a variável está bem representada no eixo se  $CTR > 0,5$ , sendo no entanto este critério algo subjetivo. Tendo em conta a Tabela 3.6, construiu-se assim a primeira componente principal, encontrando-se fortemente correlacionada com as variáveis da Tabela 3.7. Foram selecionadas as variáveis com maiores contribuições absolutas para a formação do eixo e melhor representadas. De notar que esta componente principal possui variância máxima.

1ª Componente Principal			
Correlações Negativas	Correlações Positivas		
	Variável	CTA	CTR
	<i>Enterobacter</i>	0,102	0,828
	<i>Pseudomonas</i>	0,102	0,828
	<i>Candida</i>	0,084	0,689
	<i>Klebsiella</i>	0,078	0,640
	<i>Enterococcus</i>	0,073	0,593
	<i>Acinetobacter</i>	0,068	0,563
	<i>Staphylococcus</i>	0,068	0,548
	<i>Escherichia</i>	0,058	0,490

Tabela 3.7 1ª Componente Principal – Géneros de microrganismos

Os géneros *Enterobacter* e *Pseudomonas* são os que mais contribuem para a formação do eixo com  $CTA = 0,102$  para ambas as variáveis. Dado o elevado número de variáveis em estudo, este valor pode ser considerado elevado pois é superior ao valor médio  $1/17 \cong 0,0588$ . Para além disso, as variáveis apresentadas são ainda as que estão melhor representadas na primeira componente principal, com  $CTR = 0,828$  para ambos os casos. Por existirem apenas correlações positivas com o eixo, este é designado eixo de tamanho. É também possível analisar quais os indivíduos que mais contribuem para a formação do primeiro eixo. Note-se que neste caso os indivíduos referem-se aos serviços hospitalares.

1º Eixo Principal	
Lado negativo do Eixo	Lado positivo do Eixo
S30	S24
S9	S29
S10	S4
S8	S12
	S2
	S31
	S13
	S22

Tabela 3.8 1º Eixo Principal – Serviços hospitalares

O primeiro eixo principal opõe serviços com elevados valores de isolamentos de microrganismos dos géneros que se encontram na Tabela 3.7, a serviços com baixos valores de isolamentos de microrganismos desses géneros. Conforme se depreende da leitura da Tabela 3.8, os serviços S24, S29, S4, S12, S2, S31, S13 e S22 estão representados no lado positivo do eixo. Tal significa que possuem elevados valores de isolamentos de microrganismos dos géneros que se encontram na Tabela 3.7. Por sua vez, os serviços S30, S9, S10 e S8 estão representados no lado negativo do eixo, significando que estes serviços possuem valores reduzidos de isolamentos dos géneros referidos. O primeiro eixo principal opõe assim estes dois grupos de serviços hospitalares.

A segunda componente principal está mais correlacionada com as variáveis da Tabela 3.9, não é correlacionada com a primeira, e maximiza a parte da variância restante.

2ª Componente Principal					
Correlações Negativas			Correlações Positivas		
Variável	CTA	CTR	Variável	CTA	CTR
<i>Bacteroides</i>	0,1024	0,25	<i>Haemophilus</i>	0,1764	0,4225
			<i>Stenotrophomonas</i>	0,1444	0,3481

Tabela 3.9 2ª Componente Principal – Géneros de microrganismos

Para a construção da segunda componente principal, atentou-se mais uma vez às variáveis que mais contribuem para a sua formação e estão melhor representadas no segundo eixo ou no plano [1,2]. Na Tabela 3.10 é possível analisar o segundo eixo principal do ponto de vista dos indivíduos, ou seja, dos serviços hospitalares.

2º Eixo Principal	
Lado negativo do Eixo	Lado positivo do Eixo
S2	S24
S4	S29
S3	
S22	
S31	

Tabela 3.10 2º Eixo Principal – Serviços hospitalares

O segundo eixo principal opõe assim serviços com elevados isolamentos de microrganismos dos géneros *Haemophilus* e *Stenotrophomonas*, e baixos isolamentos de

microrganismos do género *Bacteroides* – como é o caso dos serviços S24 e S29 – a serviços com elevados isolamentos de microrganismos do género *Bacteroides* e baixos isolamentos de microrganismos dos géneros *Haemophilus* e *Stenotrophomonas* – como é o caso dos serviços S2, S4, S3, S22 e S31.

No caso concreto da ACP normalizada, as variáveis podem ser representadas graficamente no interior de um círculo de centro 0 e raio 1, sendo esta representação denominada “Círculo de Correlações”. A variável está tanto melhor representada no eixo quanto mais próxima se encontrar da circunferência.

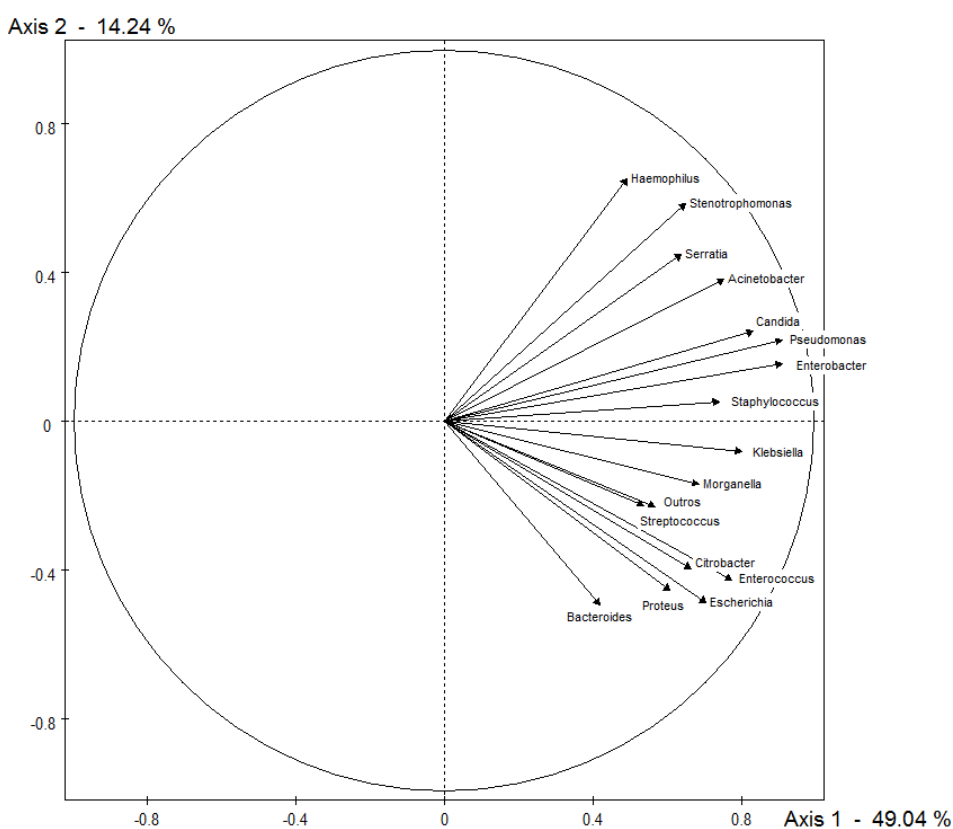


Figura 3.11 Círculo de correlações no plano [1,2]

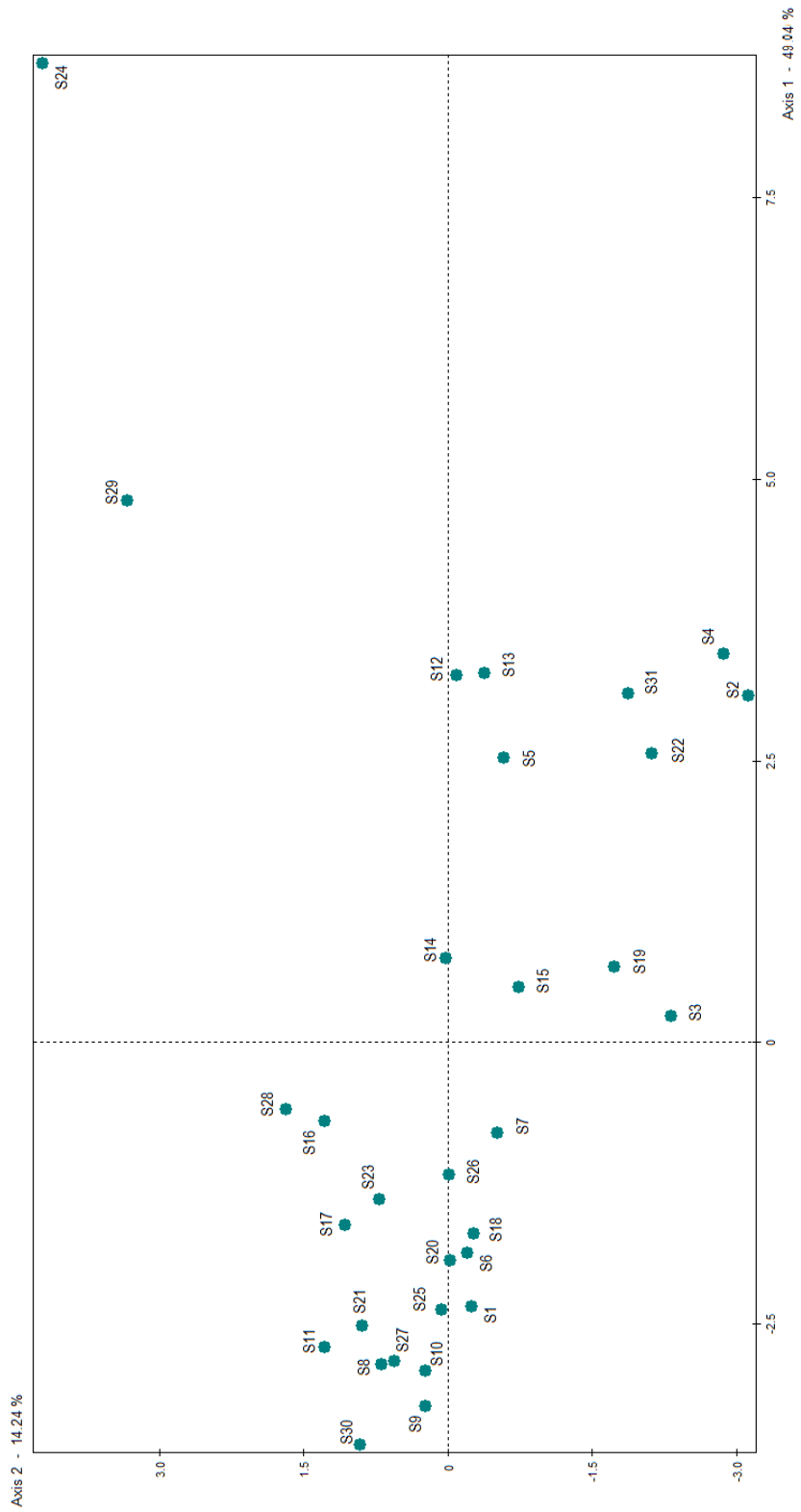


Figura 3.12 Representação dos serviços hospitalares no plano [1,2]

O círculo de correlações da Figura 3.11 permite observar graficamente que as variáveis que estão melhor representadas nos dois primeiros eixos e no plano [1,2] são de facto as referenciadas na Tabela 3.7 e 3.9. A representação dos indivíduos no plano pode também ser útil uma vez que permite uma interpretação mais rápida e intuitiva da caracterização de cada indivíduo e do seu posicionamento no plano face a indivíduos com características distintas. Na Figura 3.12 é possível observar graficamente os serviços hospitalares que os dois primeiros eixos permitem opor.

(-)	<i>Enterobacter</i>	(+)	<i>Enterobacter</i>
(-)	<i>Pseudomonas</i>	(+)	<i>Pseudomonas</i>
(-)	<i>Candida</i>	(+)	<i>Candida</i>
(-)	<i>Klebsiella</i>	(+)	<i>Klebsiella</i>
(-)	<i>Enterococcus</i>	(+)	<i>Enterococcus</i>
(-)	<i>Acinetobacter</i>	(+)	<i>Acinetobacter</i>
(-)	<i>Staphylococcus</i>	(+)	<i>Staphylococcus</i>
(-)	<i>Escherichia</i>	(+)	<i>Escherichia</i>
(+)	<i>Haemophilus</i>	(+)	<i>Haemophilus</i>
(+)	<i>Stenotrophomonas</i>	(+)	<i>Stenotrophomonas</i>
(-)	<i>Bacteroides</i>	(-)	<i>Bacteroides</i>
(-)	<i>Enterobacter</i>	(+)	<i>Enterobacter</i>
(-)	<i>Pseudomonas</i>	(+)	<i>Pseudomonas</i>
(-)	<i>Candida</i>	(+)	<i>Candida</i>
(-)	<i>Klebsiella</i>	(+)	<i>Klebsiella</i>
(-)	<i>Enterococcus</i>	(+)	<i>Enterococcus</i>
(-)	<i>Acinetobacter</i>	(+)	<i>Acinetobacter</i>
(-)	<i>Staphylococcus</i>	(+)	<i>Staphylococcus</i>
(-)	<i>Escherichia</i>	(+)	<i>Escherichia</i>
(-)	<i>Haemophilus</i>	(-)	<i>Haemophilus</i>
(-)	<i>Stenotrophomonas</i>	(-)	<i>Stenotrophomonas</i>
(+)	<i>Bacteroides</i>	(+)	<i>Bacteroides</i>

Tabela 3.11 Interpretação do plano [1,2]

A Tabela 3.11 pode ser utilizada para interpretar mais rapidamente os dois primeiros eixos, estando representado em cada quadrante os géneros de microrganismos que são mais (+) ou menos (-) frequentes nos serviços hospitalares que se inserem no quadrante. A título de exemplo considere-se o serviço S29 que se encontra no primeiro quadrante. Pela Tabela 3.11 é possível caracterizar esse serviço como tendo elevados isolamentos de microrganismos dos géneros *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Candida*, *Klebsiella*,

*Enterococcus*, *Acinetobacter*, *Staphylococcus*, *Escherichia*, *Haemophilus*, *Stenotrophomonas*, e baixos isolamentos de microrganismos do género *Bacteroides*.

Para a terceira componente principal, o mesmo estudo foi realizado, desta vez face ao plano [1,3]. Na Tabela 3.12 encontram-se as variáveis que mais contribuem para a formação do eixo.

3ª Componente Principal					
Correlações Negativas			Correlações Positivas		
Variável	CTA	CTR	Variável	CTA	CTR
<i>Proteus</i>	0,1156	0,2209	<i>Streptococcus</i>	0,25	0,4761
			<i>Bacteroides</i>	0,1444	0,2704
			<i>Outros</i>	0,1369	0,2601

Tabela 3.12 3ª Componente Principal – Géneros de microrganismos

Do ponto de vista dos indivíduos, os que mais contribuem para a formação do 3º eixo são os que se encontram na Tabela 3.13.

3º Eixo Principal	
Lado negativo do Eixo	Lado positivo do Eixo
S19	S4
S12	S20
S13	S3
S7	S2

Tabela 3.13 3º Eixo Principal – Serviços hospitalares

O terceiro eixo principal opõe serviços com elevados isolamentos de microrganismos dos géneros *Streptococcus*, *Bacteroides* e *Outros* (devem ser entendidos como agentes que surgem mais raramente), e baixos isolamentos de microrganismos do género *Proteus* – como é o caso dos serviços S4, S20, S3 e S2, a serviços com elevados isolamentos de microrganismos do género *Proteus*, e baixos isolamentos de microrganismos dos géneros *Streptococcus*, *Bacteroides* e *Outros* – como é o caso dos serviços S19, S12, S13 e S7.

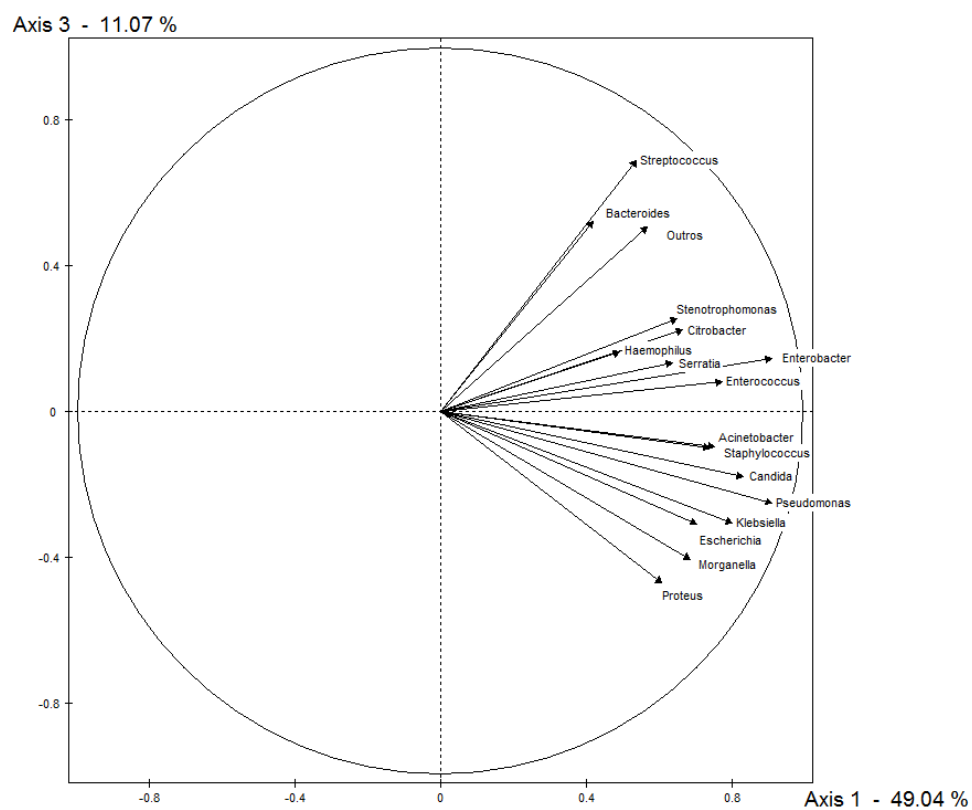


Figura 3.13 Círculo de correlações no plano [1,3]

A qualidade de representação das variáveis no plano [1,3] pode ser observada através do círculo de correlações representado na Figura 3.13, e a localização dos serviços hospitalares no plano [1,3] pode ser observada na Figura 3.14.

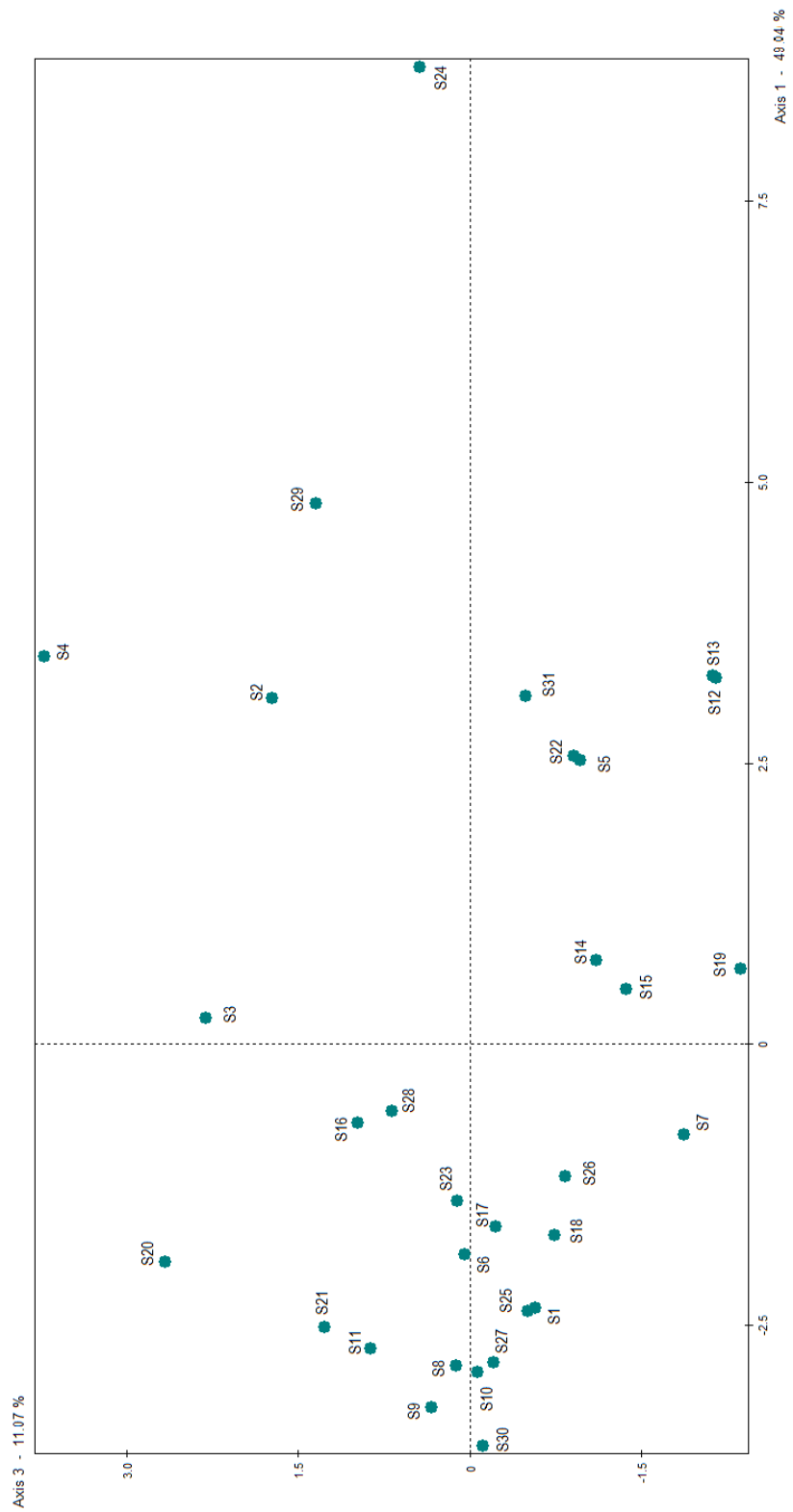


Figura 3.14 Representação dos serviços hospitalares no plano [1,3]

A Tabela 3.14 pode servir de apoio à interpretação do plano [1,3] face à posição dos serviços nos quadrantes.

		↑ Eixo 3		
(-)	<i>Enterobacter</i>	(+)	<i>Enterobacter</i>	
(-)	<i>Pseudomonas</i>	(+)	<i>Pseudomonas</i>	
(-)	<i>Candida</i>	(+)	<i>Candida</i>	
(-)	<i>Klebsiella</i>	(+)	<i>Klebsiella</i>	
(-)	<i>Enterococcus</i>	(+)	<i>Enterococcus</i>	
(-)	<i>Acinetobacter</i>	(+)	<i>Acinetobacter</i>	
(-)	<i>Staphylococcus</i>	(+)	<i>Staphylococcus</i>	
(-)	<i>Escherichia</i>	(+)	<i>Escherichia</i>	
(+)	<i>Streptococcus</i>	(+)	<i>Streptococcus</i>	
(+)	<i>Bacteroides</i>	(+)	<i>Bacteroides</i>	
(+)	<i>Outros</i>	(+)	<i>Outros</i>	
(-)	<i>Proteus</i>	(-)	<i>Proteus</i>	
(-)	<i>Enterobacter</i>	(+)	<i>Enterobacter</i>	
(-)	<i>Pseudomonas</i>	(+)	<i>Pseudomonas</i>	
(-)	<i>Candida</i>	(+)	<i>Candida</i>	
(-)	<i>Klebsiella</i>	(+)	<i>Klebsiella</i>	
(-)	<i>Enterococcus</i>	(+)	<i>Enterococcus</i>	
(-)	<i>Acinetobacter</i>	(+)	<i>Acinetobacter</i>	
(-)	<i>Staphylococcus</i>	(+)	<i>Staphylococcus</i>	
(-)	<i>Escherichia</i>	(+)	<i>Escherichia</i>	
(-)	<i>Streptococcus</i>	(-)	<i>Streptococcus</i>	
(-)	<i>Bacteroides</i>	(-)	<i>Bacteroides</i>	
(-)	<i>Outros</i>	(-)	<i>Outros</i>	
(+)	<i>Proteus</i>	(+)	<i>Proteus</i>	

→ Eixo 1

Tabela 3.14 Interpretação do plano [1,3]

Por sua vez, a quarta componente principal encontra-se correlacionada com as variáveis da Tabela 3.15, e os serviços que mais contribuem para o quarto eixo principal encontram-se na Tabela 3.16.

4ª Componente Principal					
Correlações Negativas			Correlações Positivas		
Variável	CTA	CTR	Variável	CTA	CTR
<i>Bacteroides</i>	0,1156	0,1296	<i>Outros</i>	0,1521	0,1764
<i>Klebsiella</i>	0,07	0,0841	<i>Proteus</i>	0,1089	0,1225
<i>Citrobacter</i>	0,06	0,0676	<i>Staphylococcus</i>	0,1024	0,1156
			<i>Streptococcus</i>	0,09	0,1024
			<i>Morganella</i>	0,08	0,0961

Tabela 3.15 4ª Componente Principal – Géneros de microrganismos

4º Eixo Principal	
Lado negativo do Eixo	Lado positivo do Eixo
S31	S22
S24	S20
S17	S5
S2	S11
S26	
S4	

Tabela 3.16 4º Eixo Principal – Serviços hospitalares

O quarto eixo principal opõe assim serviços hospitalares com elevados isolamentos de microrganismos dos géneros *Outros*, *Proteus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* e *Morganella* e baixos isolamentos de microrganismos dos géneros *Bacteroides*, *Klebsiella* e *Citrobacter* – como é o caso dos serviços S22, S20, S5 e S11 – a serviços com elevados isolamentos de microrganismos dos géneros *Bacteroides*, *Klebsiella* e *Citrobacter* e baixos isolamentos de microrganismos dos géneros *Outros*, *Proteus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* e *Morganella* – como é o caso dos serviços S31, S24, S17, S2, S26 e S4.

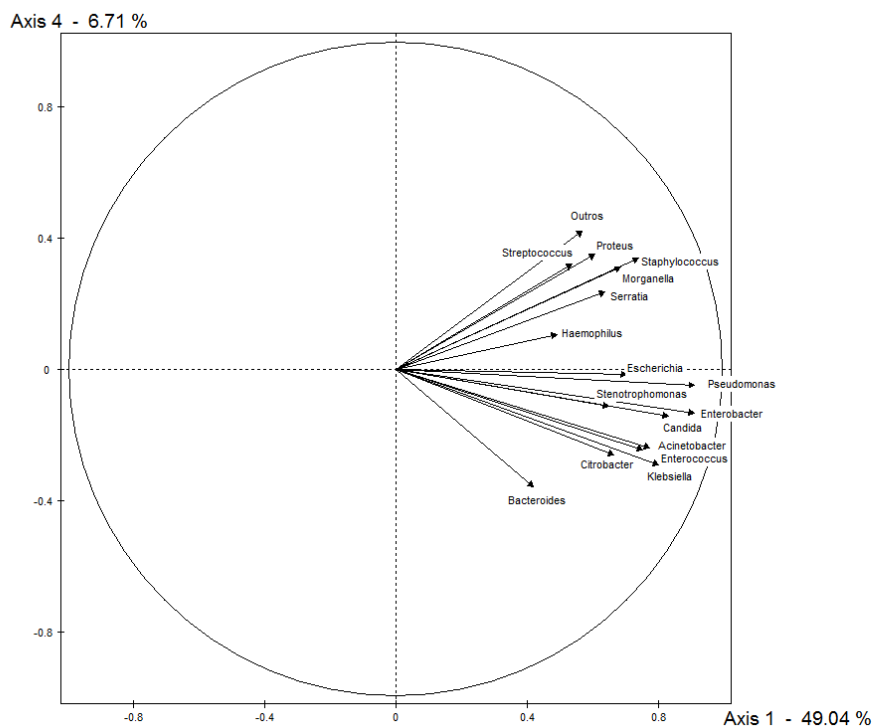


Figura 3.15 Círculo de correlações no plano [1,4]

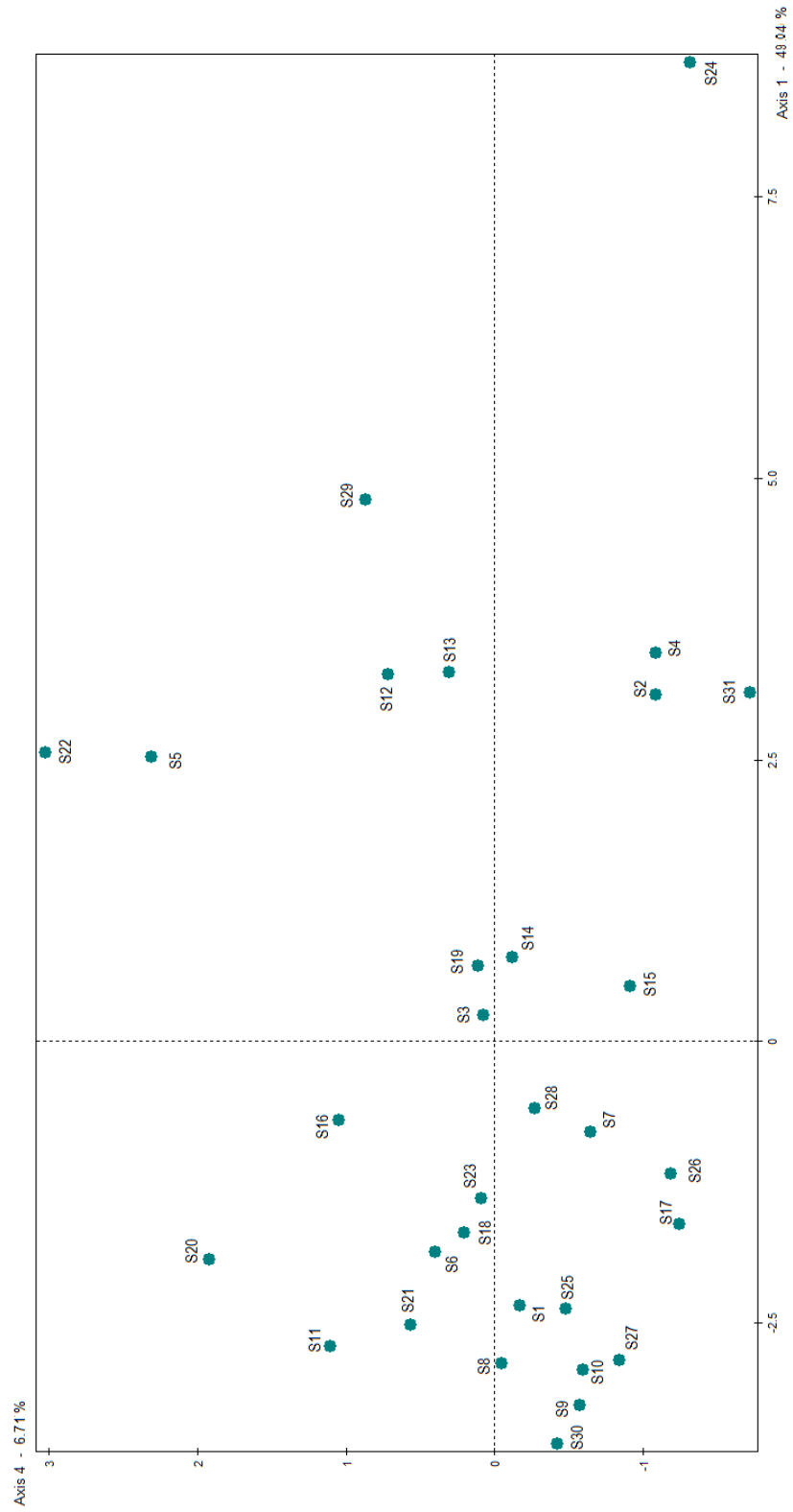


Figura 3.16 Representação dos serviços hospitalares no plano [1,4]

↑ Eixo 4

(-)	<i>Enterobacter</i>	(+)	<i>Enterobacter</i>
(-)	<i>Pseudomonas</i>	(+)	<i>Pseudomonas</i>
(-)	<i>Candida</i>	(+)	<i>Candida</i>
(-)	<i>Klebsiella</i>	(+)	<i>Klebsiella</i>
(-)	<i>Enterococcus</i>	(+)	<i>Enterococcus</i>
(-)	<i>Acinetobacter</i>	(+)	<i>Acinetobacter</i>
(-)	<i>Staphylococcus</i>	(+)	<i>Staphylococcus</i>
(-)	<i>Escherichia</i>	(+)	<i>Escherichia</i>
(+)	<i>Outros</i>	(+)	<i>Outros</i>
(+)	<i>Proteus</i>	(+)	<i>Proteus</i>
(+)	<i>Staphylococcus</i>	(+)	<i>Staphylococcus</i>
(+)	<i>Streptococcus</i>	(+)	<i>Streptococcus</i>
(+)	<i>Morganella</i>	(+)	<i>Morganella</i>
(-)	<i>Bacteroides</i>	(-)	<i>Bacteroides</i>
(-)	<i>Klebsiella</i>	(-)	<i>Klebsiella</i>
(-)	<i>Citrobacter</i>	(-)	<i>Citrobacter</i>
(-)	<i>Enterobacter</i>	(+)	<i>Enterobacter</i>
(-)	<i>Pseudomonas</i>	(+)	<i>Pseudomonas</i>
(-)	<i>Candida</i>	(+)	<i>Candida</i>
(-)	<i>Klebsiella</i>	(+)	<i>Klebsiella</i>
(-)	<i>Enterococcus</i>	(+)	<i>Enterococcus</i>
(-)	<i>Acinetobacter</i>	(+)	<i>Acinetobacter</i>
(-)	<i>Staphylococcus</i>	(+)	<i>Staphylococcus</i>
(-)	<i>Escherichia</i>	(+)	<i>Escherichia</i>
(-)	<i>Outros</i>	(-)	<i>Outros</i>
(-)	<i>Proteus</i>	(-)	<i>Proteus</i>
(-)	<i>Staphylococcus</i>	(-)	<i>Staphylococcus</i>
(-)	<i>Streptococcus</i>	(-)	<i>Streptococcus</i>
(-)	<i>Morganella</i>	(-)	<i>Morganella</i>
(+)	<i>Bacteroides</i>	(+)	<i>Bacteroides</i>
(+)	<i>Klebsiella</i>	(+)	<i>Klebsiella</i>

→ Eixo 1

Tabela 3.17 Interpretação do plano [1,4]

Em diálogo com as supervisoras do núcleo executivo da Comissão de Controlo de Infecção, foi demonstrado interesse em realizar a mesma análise retirando no entanto os serviços S24 e S29 dado os valores de isolamentos de microrganismos serem bastante mais elevados do que nos restantes serviços, devido às suas características específicas. Dessa forma foi obtida a 1ª Componente Principal que está mais correlacionada com as variáveis indicadas na Tabela 3.18. Por sua vez, os serviços que mais contribuem para o primeiro eixo principal encontram-se na Tabela 3.19.

Tendo-se verificado que os dois primeiros eixos explicam cerca de 60% da inércia e que se verifica no segundo eixo um ponto de inflexão, retiveram-se os dois primeiros eixos principais.

1ª Componente Principal (sem S24 e S29)			
Correlações Negativas	Correlações Positivas		
	Variável	CTA	CTR
	<i>Enterobacter</i>	0,096	0,740
	<i>Pseudomonas</i>	0,096	0,757
	<i>Enterococcus</i>	0,090	0,706
	<i>Escherichia</i>	0,090	0,706
	<i>Proteus</i>	0,078	0,593
	<i>Klebsiella</i>	0,078	0,608
	<i>Candida</i>	0,073	0,563
	<i>Acinetobacter</i>	0,068	0,533
	<i>Citrobacter</i>	0,068	0,548
	<i>Morganella</i>	0,063	0,504

Tabela 3.18 1ª Componente Principal – géneros de microrganismos (sem S24 e S29)

1º Eixo Principal (sem S24 e S29)	
Lado negativo do Eixo	Lado positivo do Eixo
S30	S4
S9	S12
S11	S31
S8	S13
	S2
	S5
	S22

Tabela 3.19 1º Eixo Principal – Géneros de microrganismos (sem S24 e S29)

A primeira componente principal opõe assim serviços com elevados isolamentos de microrganismos dos géneros *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Enterococcus*, *Escherichia*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Candida*, *Acinetobacter*, *Citrobacter* e *Morganella*, – como é o caso dos serviços S4, S12, S31, S13, S2, S5 e S22 – a serviços com baixos isolamentos de microrganismos dos géneros referidos – como é o caso dos serviços S30, S9, S11 e S8.

Relativamente à segunda componente principal, as variáveis que estão mais correlacionadas esta, podem ser observadas na Tabela 3.20 e os serviços que mais contribuem para o 2º eixo principal são os indicados na Tabela 3.21.

2ª Componente Principal (sem S24 e S29)					
Correlações Negativas			Correlações Positivas		
Variável	CTA	CTR	Variável	CTA	CTR
<i>Streptococcus</i>	0,230	0,533	<i>Pseudomonas</i>	0,073	0,168
<i>Bacteroides</i>	0,168	0,410	<i>Acinetobacter</i>	0,068	0,160
<i>Outros</i>	0,090	0,281	<i>Candida</i>	0,053	0,130
<i>Stenotrophomonas</i>	0,073	0,176			
<i>Citrobacter</i>	0,053	0,130			

Tabela 3.20 2ª Componente Principal – géneros de microrganismos (sem S24 e S29)

2º Eixo Principal (sem S24 e S29)	
Lado negativo do Eixo	Lado positivo do Eixo
S4	S12
S2	S13
S3	S14
S20	

Tabela 3.21 2º Eixo Principal – Géneros de microrganismos (sem S24 e S29)

A segunda componente principal opõe assim serviços com elevados isolamentos de microrganismos dos géneros *Pseudomonas*, *Acinetobacter* e *Candida*, e baixos isolamentos de microrganismos dos géneros *Streptococcus*, *Bacteroides*, *Outros*, *Stenotrophomonas* e *Citrobacter* – como é o caso dos serviços S12, S13 e S14 – a serviços com elevados isolamentos de microrganismos dos géneros *Streptococcus*, *Bacteroides*, *Outros*, *Stenotrophomonas* e *Citrobacter* e baixos isolamentos de microrganismos dos géneros *Pseudomonas*, *Acinetobacter* e *Candida* – como é o caso dos serviços S4, S2, S3 e S20.

A exclusão dos serviços S24 e S29 conduziu a algumas diferenças em relação às variáveis e indivíduos que mais contribuem para a formação dos dois primeiros eixos. Em relação à primeira componente principal, repare-se que os microrganismos *Proteus*, *Citrobacter* e *Morganella* surgem agora como algumas das variáveis que mais contribuem para a formação do primeiro eixo, facto que não acontecia com a inclusão dos serviços S24 e S29. Por sua vez, a variável *Staphylococcus* não surge agora como uma das que mais contribui para a formação do eixo, ao contrário do que acontecia. Em relação aos serviços,

o serviço S11 surge agora como um dos indivíduos que mais contribui para a formação do eixo, estando correlacionado negativamente. Por sua vez, o serviço S5 surge agora também como um dos indivíduos que mais contribui para a formação do eixo, mas estando positivamente correlacionado. Contrariamente ao que acontecia anteriormente, o serviço S10 não surge agora como um dos indivíduos que mais contribui para a formação do eixo.

Face à segunda componente principal, as diferenças da exclusão dos serviços S24 e S29 são maiores. De facto, as variáveis *Streptococcus*, *Outros*, *Stenotrophomonas*, *Citrobacter*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter* e *Candida* surgem agora como as que mais contribuem para a formação do segundo eixo, contrariamente ao que acontecia, em que as variáveis que mais contribuía para a formação do eixo eram as variáveis *Bacteroides*, *Haemophilus* e *Stenotrophomonas*. Apesar do género *Stenotrophomonas* surgir em ambos os casos, repare-se que não só contribui mais como está melhor representado na ACP desenvolvida com os serviços S24 e S29 excluídos. Para além disso, e contrariamente ao que acontecia, correlaciona-se agora positivamente com o eixo.

Em relação aos serviços, repare-se que já não surgem os serviços S22 e S31 como indivíduos que mais contribuem para a formação do eixo. Negativamente correlacionado com o segundo eixo surge agora o serviço S20, e positivamente correlacionados surgem os serviços S12, S13 e S14.

### **3.4 Conclusão**

Neste Capítulo, a base de dados sobre a qual o caso de estudo incide foi descrita. Através de uma análise exploratória em que foram calculadas as principais medidas de localização e dispersão das variáveis, identificaram-se as estirpes de microrganismos mais frequentemente detetadas no hospital, sendo estas constituídas pelos géneros *Staphylococcus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Candida*, *Enterococcus*, *Klebsiella* e *Proteus*; e pelas espécies *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis*, *Candida albicans* e *Staphylococcus epidermidis*.

Dada a sua importância na representatividade da base de dados, as variáveis género *Staphylococcus* e espécie *Escherichia coli* foram alvo de uma análise exploratória mais

meticulosa. No entanto, é possível estender analogamente aos restantes géneros e espécies de microrganismos uma análise semelhante. A análise univariada desenvolvida procurou identificar quais os microrganismos e serviços hospitalares onde a utilização de cartas de controlo poderá trazer mais valor numa perspetiva de melhoria contínua. A identificação dos microrganismos mais frequentes no hospital vai orientar a construção de novas variáveis, tais como a evolução temporal do número de isolamentos de determinados microrganismos quer na globalidade do hospital quer em determinados serviços. De notar que, apesar das variáveis terem sido destacadas pela sua relevância estatística, poderão existir microrganismos que, mesmo não sendo muito frequentes, tenham grande relevância médica. Para a seleção de variáveis cujos parâmetros se pretendem monitorizar, deve existir uma grande articulação com os profissionais de saúde para que seja possível atingir um bom equilíbrio entre relevância estatística e médica.

A Análise em Componentes Principais permitiu identificar não só os serviços hospitalares onde o número de isolamentos dos principais microrganismos causadores de infeções hospitalares é maior, como também quais os agentes. Sendo responsável por 49% da inércia total, a primeira componente principal permitiu identificar os serviços S24, S29, S4, S12, S2, S31, S13 e S22 como os serviços com o maior número de isolamentos de microrganismos dos géneros *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Candida*, *Klebsiella*, *Enterococcus*, *Acinetobacter*, *Staphylococcus* e *Escherichia*, alguns dos principais agentes causadores de infeções hospitalares.

Por outro lado, permitiu ainda identificar os serviços S30, S9, S10 e S8 como serviços com poucos isolamentos destes microrganismos.

De referir que os resultados estão de acordo com a informação prestada em diálogo com as supervisoras do núcleo executivo da Comissão de Controlo de Infeção de que em determinados serviços, pela sua natureza, existe um maior número de microrganismos detetados.

Em diálogo com as supervisoras do núcleo executivo da Comissão de Controlo de Infeção foi referido que a existência de um maior número de microrganismos em certos serviços depende também da própria natureza do serviço e das suas práticas. Desta forma, a interpretação de um maior número de isolamentos de microrganismos em certos serviços

deve ser feita de uma forma cuidadosa. Nas Unidades de Cuidados Intensivos, geralmente existe um maior número de microrganismos detetados, estando tal facto diretamente relacionado com o estado de saúde dos doentes ser mais débil e a gravidade das doenças maior, o que torna os indivíduos mais susceptíveis de contraírem uma infeção hospitalar. Assim, nestes serviços são realizadas mais colheitas, o que conduz a que sejam detetados mais microrganismos. Acresce ainda o facto de Unidades de Cuidados Intensivos serem serviços onde se procede a técnicas mais invasivas, sendo que o risco de contrair uma infeção é maior.

No caso dos serviços de Medicina, o número de doentes internados é bastante superior ao número de internamentos nas Unidades de Cuidados Intensivos, por exemplo. O estado de saúde dos doentes internados nestes serviços provoca também debilidade dos indivíduos, sendo estes internados já doentes e portanto mais frágeis. Assim, consequência do maior número de doentes e da sua fragilidade, procede-se a um maior número de colheitas o que conduz igualmente a aumentos no número de isolamentos.

Em diálogo com as supervisoras do núcleo executivo da Comissão de Controlo de Infeção, foi ainda referido que existe grande interesse no conhecimento da prevalência histórica dos microrganismos nos diversos serviços hospitalares. Face a uma suspeita de infeção hospitalar, são realizadas colheitas ao doente de forma a procurar identificar um agente causador de infeção. No entanto, os resultados da análise microbiológica não são imediatos. Para que o doente possa começar a ser imediatamente medicado e não tenha de aguardar pelo resultado das análises com um possível agravamento da infeção, o conhecimento dos microrganismos que são mais frequentes no serviço onde está internado pode impedir uma evolução negativa do seu estado de saúde ao permitir a prescrição empírica de antibióticos de acordo com a maior probabilidade de se tratar de um microrganismo mais habitual no serviço.

Reitera-se assim que a interpretação dos valores deve ser sempre enquadrada no âmbito da vigilância epidemiológica e nas características dos serviços, existindo assim uma série de condicionantes que têm de ser considerados. Lembra-se ainda que os microrganismos fazem parte da vida humana, não sendo a sua mera existência preocupante.

Face aos serviços hospitalares, foi possível identificar aqueles onde foram detetados mais microrganismos causadores de infeções hospitalares. Relembre-se que estes são constituídos pelos serviços S24, S12, S13, S29, S31, S2, S22 e S4.

A construção de uma matriz de correlações entre os pares de microrganismos permitiu evidenciar a existência de correlação linear entre algumas estirpes, tendo-se constatado que o género *Pseudomonas* apresentou forte correlação linear com bastantes outros géneros.

Por fim, a construção de componentes principais permitiu reduzir o número de variáveis, evidenciando os microrganismos responsáveis pela maior parte da variabilidade dos dados.

O presente Capítulo teve como objetivo evidenciar os microrganismos de maior interesse não só pela sua representatividade no hospital mas também pela sua relação com os demais. Paralelamente procurou-se evidenciar também quais os serviços onde o número de isolamentos de microrganismos causadores de infeções hospitalares é maior. Será face a estes microrganismos e serviços que a construção de cartas de controlo se revela mais pertinente.

No Capítulo 4, será analisada a evolução ao longo de todo o período em estudo do número de isolamentos dos géneros de microrganismos destacados na análise univariada. Da mesma forma, será igualmente analisada a evolução do número de isolamentos nos serviços onde se registaram mais isolamentos durante o período em estudo.

## Capítulo 4 - Evolução dos isolamentos de Microrganismos

Por forma a evidenciar o comportamento dos microrganismos ao longo do tempo, foram construídas as séries temporais que em seguida se apresentam onde, para cada género de microrganismo destacado na análise univariada, é representado o número de isolamentos mensais. O eixo das ordenadas refere-se ao número de microrganismos detetados em colheitas por mês, e o eixo das abcissas ao mês do ano. De referir que os meses foram codificados com letras (janeiro – A; fevereiro – B; março – C; abril – D; maio – E; junho – F; julho – G; agosto – H; setembro – I; outubro – J; novembro – K; dezembro – L).

Na Figura 4.1 começou-se por analisar a evolução dos microrganismos que figuram na base de dados, na globalidade do hospital.

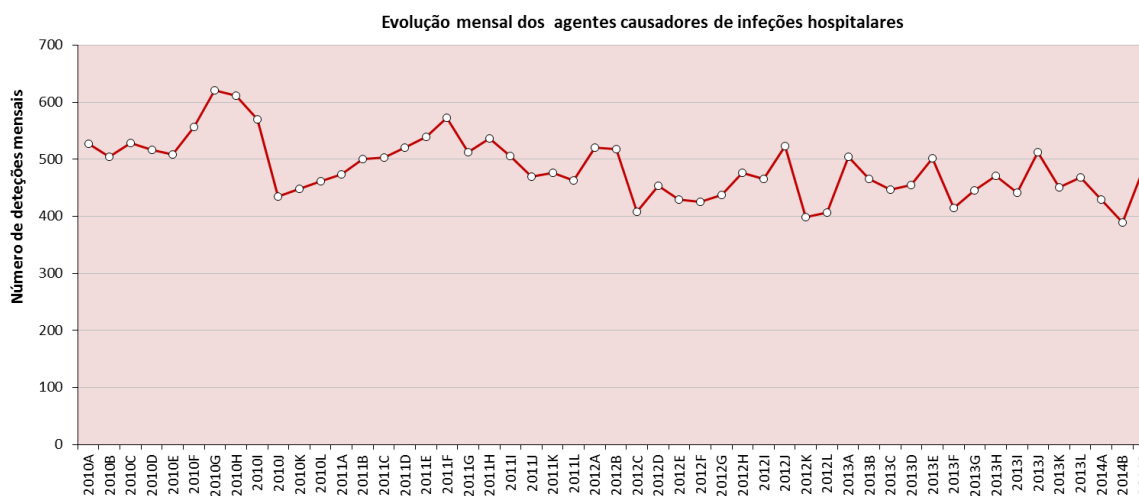


Figura 4.1 Evolução global dos agentes causadores de infeções hospitalares

Note-se que em julho de 2010 verificou-se um aumento no número de microrganismos detetados, tendo nesse mês o valor ascendido a 621 isolamentos. Não só foi atingido um nível elevado face aos meses anteriores, como também o maior valor na globalidade de todo o período em estudo. A partir de setembro do mesmo ano é igualmente notória uma grande diminuição, tendo o número de isolamentos mensais passado a oscilar em torno de valores menores face aos períodos anteriores. É preciso ter em consideração que a evolução

da prevalência dos microrganismos pode não corresponder necessariamente à evolução das infeções reais. Em diálogo com as supervisoras do núcleo executivo da Comissão de Controlo de Infeção (CCI), foi referido que durante o período do estudo não foram detetados surtos de infeções. Apesar de não terem sido apontadas situações atípicas que possam ter sido responsáveis pelo aumento em julho de 2010, levantaram-se suspeitas sobre o facto de a diminuição verificada a partir de setembro poder ter sido provocada pela implementação no hospital, após 2009, da Campanha de Higienização das Mãos. Admitindo que possa ter existido um período de disseminação da sensibilização da campanha até que esta tenha começado a evidenciar efeitos reais, segundo membros da CCI esta terá potencialmente sido a principal causa da diminuição que se verifica desde setembro de 2010.

Para além da evolução da globalidade dos microrganismos, decidiu-se construir dois indicadores que evidenciassem a forma como os principais microrganismos têm evoluído. O primeiro indicador agrega os isolamentos mensais dos principais géneros de microrganismos destacados na análise univariada, ou seja, *Staphylococcus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Candida*, *Enterococcus*, *Klebsiella*, *Acinetobacter* e *Proteus*. Já o segundo indicador agrega os isolamentos mensais das principais espécies de microrganismos, ou seja, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis*, *Candida albicans* e *Staphylococcus epidermidis*.

Na Figura 4.2 e na Figura 4.3 é representada a evolução do indicador dos géneros e das espécies de microrganismos respetivamente.

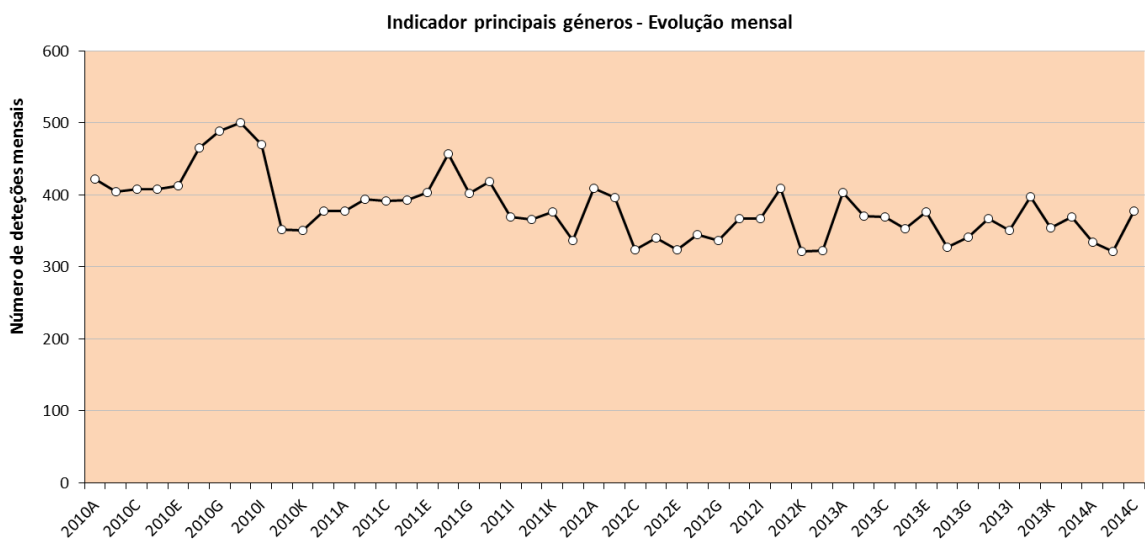


Figura 4.2 Evolução do indicador dos géneros

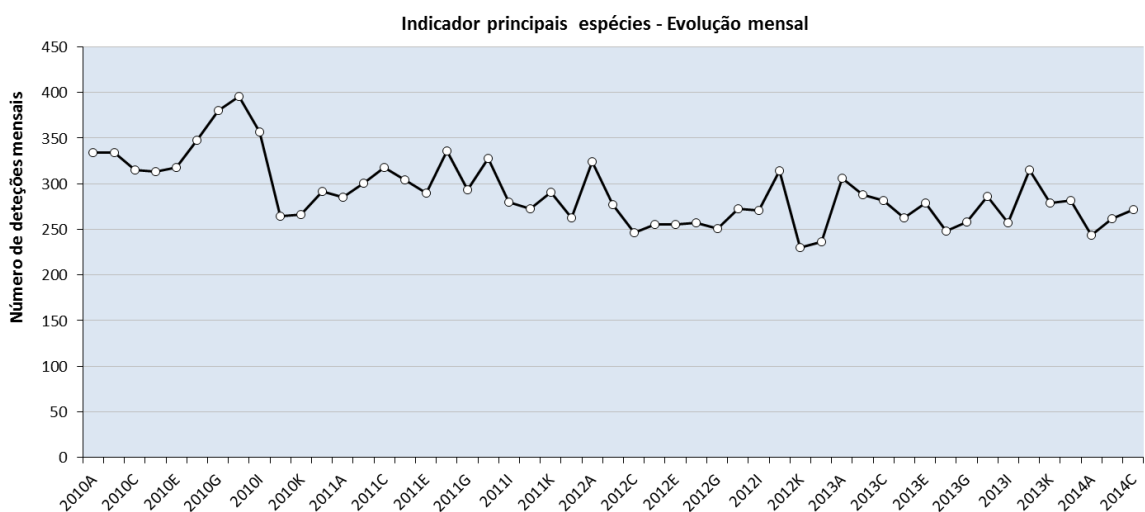


Figura 4.3 Evolução do indicador das espécies

A evolução de ambos os indicadores construídos segue de muito perto a evolução global dos microrganismos no hospital. Tal facto era já esperado uma vez que se verificou anteriormente que os géneros e as espécies destacadas representam uma grande parte de todos os microrganismos que foram detetados. De referir que se constatou o mesmo comportamento em junho, julho, agosto e setembro de 2010 face à evolução global de microrganismos. Reitera-se assim a ideia de que a evolução destes agentes é bem

representativa da evolução da globalidade dos microrganismos no hospital. Por outro lado, também se verifica que a evolução dos principais géneros de microrganismos se deve em larga medida à evolução das espécies referidas.

#### 4.1 Evolução por microrganismo

Foram ainda analisadas as evoluções individuais de cada género. Da Figura 4.4 à Figura 4.11 é possível observar a evolução dos géneros *Staphylococcus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Candida*, *Enterococcus*, *Klebsiella*, *Acinetobacter* e *Proteus*. Para cada variável procedeu-se ainda a uma breve análise da sua evolução.

Neste Capítulo efetuaram-se testes estatísticos para a igualdade dos números médios de isolamentos de cada género de microrganismo em períodos distintos, cuja formulação genérica se apresenta em seguida.

Seja,

$\mu_A$  – "Valor esperado de deteções no período A",

$\mu_B$  – "Valor esperado de deteções no período B".

$$H_0: \mu_A - \mu_B = 0,$$

$$H_1: \mu_A - \mu_B > 0.$$

A estatística de teste, sob  $H_0$ , é dada por:

$$ET = \frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{\sqrt{\frac{S_A^2}{n_A} + \frac{S_B^2}{n_B}}} \sim N(0,1)$$

onde  $\bar{X}_A$  e  $\bar{X}_B$  são as médias amostrais e  $S_A^2$  e  $S_B^2$  representam as variâncias amostrais, e  $n_A$  e  $n_B$  as dimensões das amostras (amostras grandes).

O valor crítico  $c$  é assim obtido através da condição  $\alpha = P(ET > c|H_0)$ . Por fim, a Região Crítica é um intervalo que contém os valores da estatística de teste para os quais a hipótese nula é rejeitada.

Para cada teste desenvolvido, a Tabela A.2.1, que se encontra no Anexo A.2 – Anexo Capítulo 4, apresenta a variável em causa, a formulação das hipóteses, os períodos em comparação, o valor observado da estatística de teste, a região crítica calculada e a conclusão do teste. De referir que se optou por utilizar em todos os testes um nível de significância  $\alpha = 5\%$ , sendo este valor obtido por:

$$\alpha = P(ET > c|H_0).$$

A Figura 4.4 representa a evolução mensal de isolamentos de microrganismos do género *Staphylococcus* no hospital.

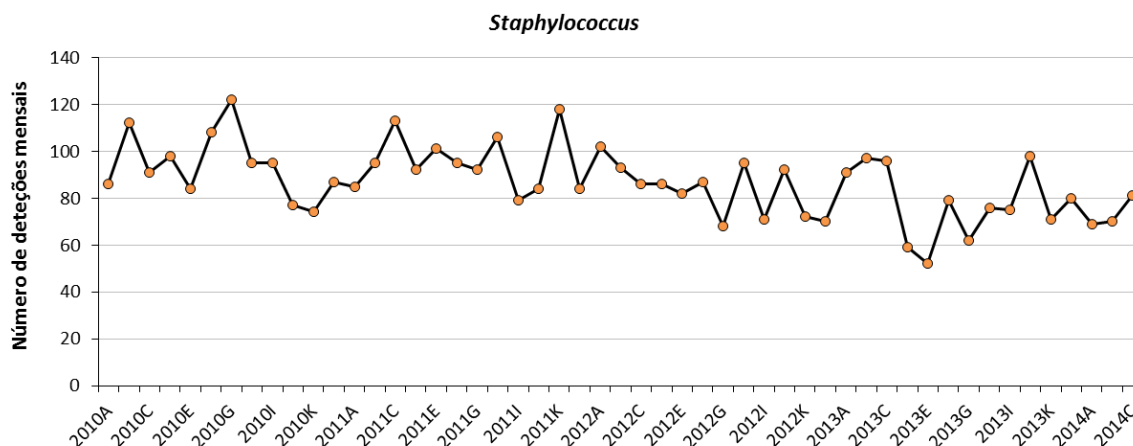


Figura 4.4 Evolução do género *Staphylococcus*

É notório na Figura 4.4 que a partir do ano de 2012, o número de microrganismos do género *Staphylococcus* detetados diminuiu substancialmente. É possível ainda observar que em abril de 2013 assistiu-se a outra diminuição. Em 2010 e 2011 o valor médio de isolamentos de microrganismos do género *Staphylococcus* cifrou-se em 94,7; entre janeiro de 2012 e março de 2013 em 85,87; e entre abril de 2013 e março de 2014 em 72,7.

Através de um teste para a igualdade dos valores médios (consultar Tabela A.2.1 linhas (a) e (b)), conclui-se que, em média, o número de isolamentos de microrganismos do género *Staphylococcus* em 2010 e 2011 foi superior ao número médio de isolamentos de microrganismos do género *Staphylococcus* entre janeiro de 2012 e março de 2013, que por sua vez foi superior ao período compreendido entre abril de 2013 e março de 2014.

Confirmou-se assim que a evolução do microrganismo *Staphylococcus* tem sido bastante positiva ao longo do tempo, uma vez que tem vindo a diminuir ao longo dos anos do período em estudo. De seguida, na Figura 4.5 atentou-se à evolução do género *Escherichia*.

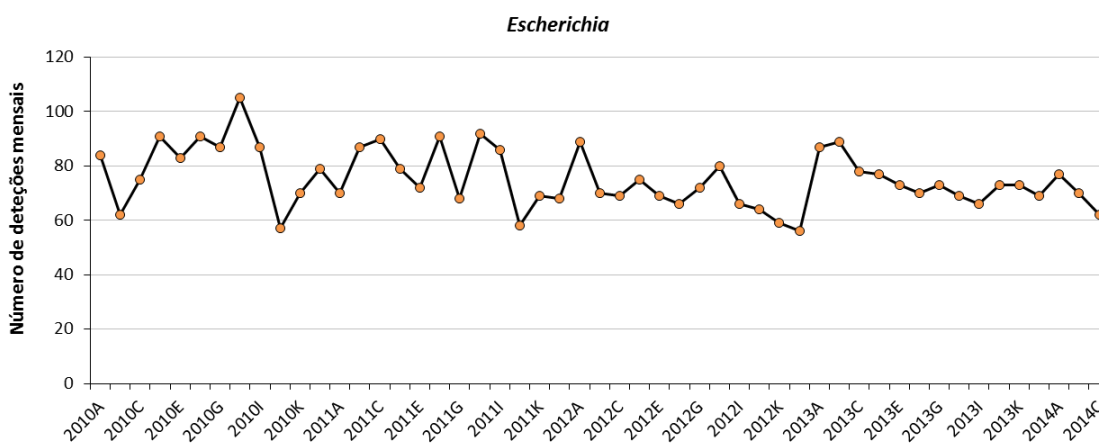


Figura 4.5 Evolução do género *Escherichia*

Relativamente ao género *Escherichia*, verificou-se que agosto de 2010 foi o mês com um maior número de isolamentos de *Escherichia*, com um total de 105. Por outro lado, desde outubro de 2011 os valores passaram a oscilar em torno de 71,2 – valor inferior ao até então verificado – 81,24. Mais uma vez recorreu-se ao teste para a igualdade dos valores médios que permitiu confirmar a diferença entre o valor médio de isolamentos de microrganismos do género *Escherichia* antes e a partir de outubro de 2011 (consultar Tabela A.2.1 (c)) concluindo-se que, em média, o número de isolamentos antes de outubro de 2011 foi superior ao número de isolamentos verificadas a partir de outubro de 2011. Para além disso, de notar ainda que a partir de março de 2013 a variabilidade diminuiu bastante, onde todos os valores observados desde então estão compreendidos entre 60 e 80 isolamentos por mês.

Na Figura 4.6 é possível observar a evolução mensal da detecção de microrganismos do género *Pseudomonas*.

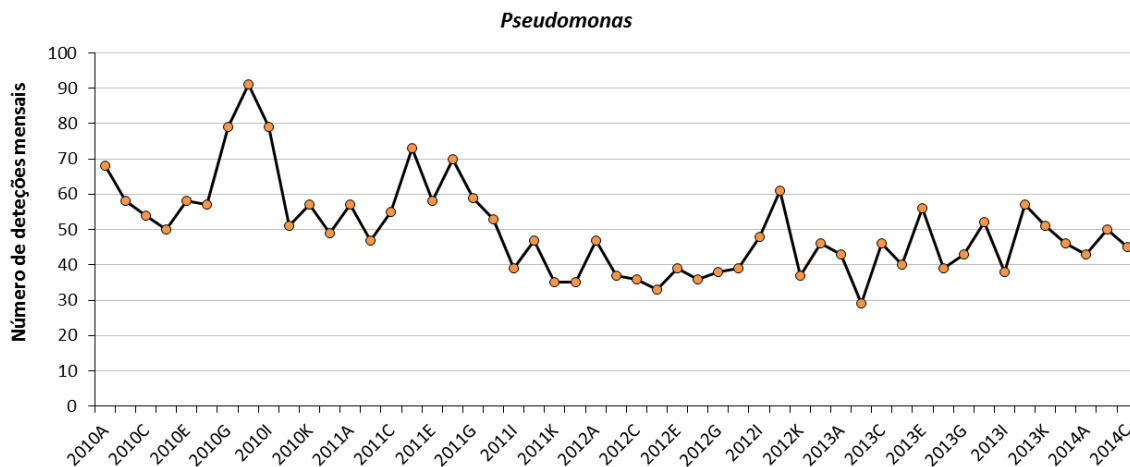


Figura 4.6 Evolução do género *Pseudomonas*

Em julho e agosto de 2010 verificou-se um grande aumento no número de isolamentos de *Pseudomonas*, tendo em agosto sido atingido o máximo valor em relação a todo o período do estudo, com um total de 91 isolamentos de microrganismos do género *Pseudomonas*. Relembre-se que em julho e agosto desse mesmo ano se verificou no hospital o maior número de isolamentos de microrganismos causadores de infeções hospitalares. O género *Pseudomonas* poderá ter tido uma grande contribuição para esse aumento global. Por outro lado, conforme se verifica pela matriz de correlações da Tabela 3.6, este género apresenta forte correlação linear positiva com bastantes outros géneros, nomeadamente com os géneros *Candida*, *Acinetobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella*. Repare-se ainda que entre setembro de 2011 e agosto de 2012, o número médio de isolamentos de microrganismos do género *Pseudomonas* decresceu para 38,42 face a um número médio de 61,15 no período anterior. Novamente com recurso ao teste para a igualdade dos valores médios (consultar Tabela A.2.1 (d)) concluiu-se que, em média, o número de isolamentos de microrganismos do género *Pseudomonas* antes de setembro de 2011 é superior ao número de isolamentos de microrganismos do género *Pseudomonas* entre setembro de 2011 e agosto de 2012. No entanto, de setembro de 2012 até março de 2014 verificou-se uma tendência crescente tendo a média de isolamentos ascendido a 45,79. De facto, através do

teste para a igualdade dos valores médios (consultar Tabela A.2.1 (e)) concluiu-se que, em média, o número de isolamentos de microrganismos do género *Pseudomonas* entre setembro de 2011 e agosto de 2012 é inferior ao número médio de isolamentos de microrganismos do género *Pseudomonas* entre setembro de 2012 e março de 2014.

Mais uma vez considera-se importante referir a forte correlação linear positiva que este género apresenta com outros géneros bastante frequentes. Desta forma deve ser levantada a suspeita de que outros géneros de microrganismos positivamente correlacionados com o género *Pseudomonas* possam ter acompanhado esta tendência crescente.

A Figura 4.7 apresenta a evolução mensal da deteção de casos de *Candida*.

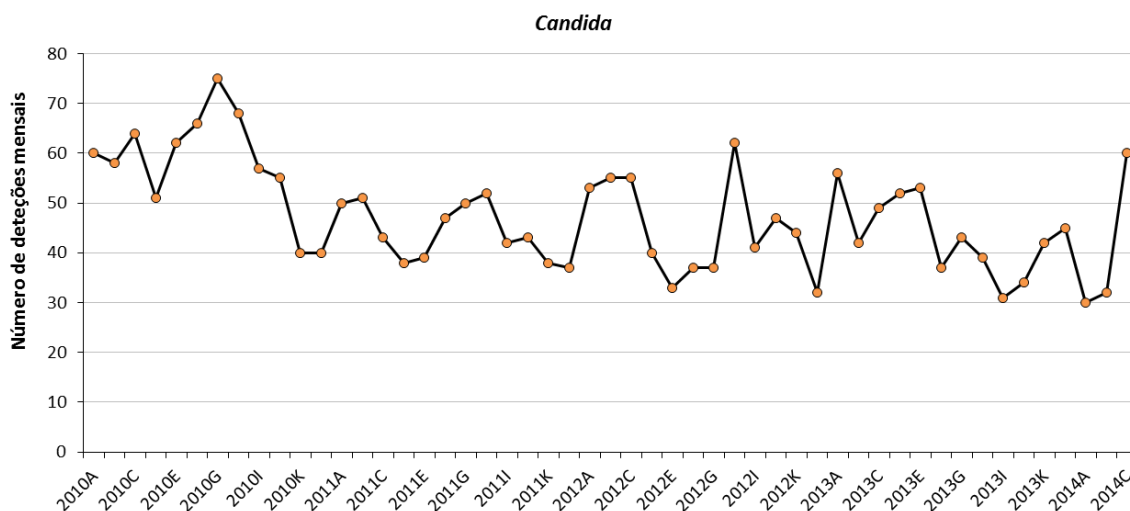


Figura 4.7 Evolução do género *Candida*

Desde logo é importante referir que em junho, julho e agosto de 2010 foram verificados os maiores valores de isolamentos da totalidade do período em estudo tendo em julho existido 75 isolamentos de microrganismos do género *Candida*. Após este período, nomeadamente a partir de novembro de 2010 o número de isolamentos de microrganismos do género *Candida* por mês diminuiu substancialmente tendo estabilizado posteriormente em torno de cerca de 43 isolamentos por mês. Repare-se que os meses de verão destacados coincidem com os elevados valores de casos de *Pseudomonas* registados nesse mesmo período. Confirma-se assim nestes meses a forte correlação linear positiva existente entre estes dois géneros cujo coeficiente de correlação linear se cifra em 0,9. No entanto, apesar

de se ter verificado uma tendência crescente do número de isolamentos de *Pseudomonas* desde novembro de 2012, o género *Candida* não tem acompanhado essa tendência.

A Figura 4.8 apresenta a evolução mensal de isolamentos do género *Enterococcus*.

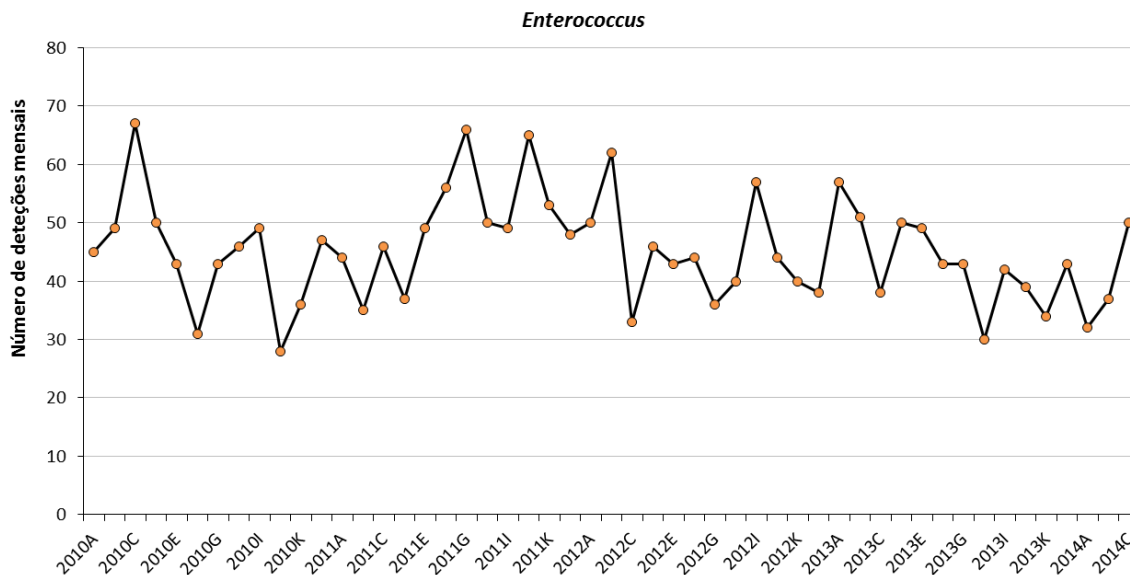


Figura 4.8 Evolução do género *Enterococcus*

Face a este género, de referir a existência de alguma variabilidade notória ao longo dos meses. Por outro lado, entre maio de 2011 e fevereiro de 2012 o número de isolamentos de microrganismos do género *Enterococcus* manteve-se sustentadamente acima do valor verificado para os restantes períodos do estudo. De facto, entre estes meses foram detetados em média 54,8 microrganismos que contrastam com um número médio de 42,6 microrganismos detetados no restante período do estudo. De referir ainda que a evolução mais recente deste género que está positivamente correlacionado com o género *Pseudomonas*, com um coeficiente de correlação linear de 0,614, não tem acompanhado a sua evolução crescente.

Por sua vez, na Figura 4.9 é possível observar a evolução mensal da deteção de microrganismos do género *Klebsiella*.

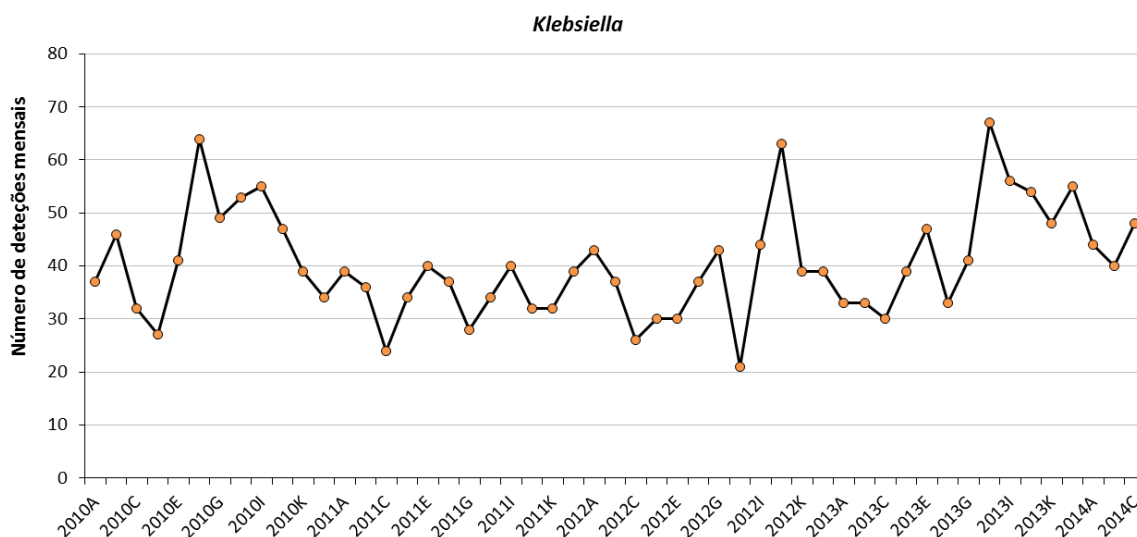


Figura 4.9 Evolução do género *Klebsiella*

Repare-se que em junho de 2010 se verificou um elevado valor do número de isolamentos de microrganismos do género *Klebsiella*. Apesar destes valores terem decrescido um pouco nos meses seguintes, mantiveram-se elevados em julho, agosto e setembro antes de terem voltado a diminuir a partir de outubro. O aumento do número de microrganismos deste género detetados neste período coincidiu com o aumento verificado para os géneros *Pseudomonas* e *Candida*. Para além da correlação linear positiva já referida face ao género *Pseudomonas*, com um valor do coeficiente de correlação linear que ascende a 0,784, o género *Klebsiella* apresenta igualmente uma elevada correlação linear positiva com o género *Candida*, assumindo o coeficiente o valor de 0,759.

Face aos meses de verão de 2010 – junho, julho e agosto – verificou-se que os géneros *Pseudomonas*, *Candida* e *Klebsiella* foram os principais responsáveis pelo aumento de isolamentos de microrganismos causadores de infeções hospitalares na globalidade do hospital. Para além disso, o género *Klebsiella* foi o que inicialmente começou a apresentar valores mais elevados já em junho.

Em discussão com as supervisoras do núcleo executivo da CCI, referiu-se que, quando é identificado um elevado aumento no número de isolamentos de uma estirpe de microrganismo, há uma deslocação de membros da Comissão aos serviços por forma a

tentar compreender através do diálogo com os demais profissionais de saúde o que pode estar na causa desse aumento verificado. Após a deslocação de membros da Comissão aos serviços, é usual que a sensibilização resulte, pelo menos durante algum tempo, num aumento da atenção e do cumprimento de procedimentos, podendo conduzir a uma eventual diminuição no número de microrganismos detetados.

De notar ainda que, durante o ano de 2011, a evolução de isolamentos de *Klebsiella* no hospital aparentou estar sob controlo, tendo os valores oscilado em torno de um valor médio igual a 34,6 isolamentos. Este valor contrasta com o valor médio de isolamentos que se verificou em 2010 e que se cifrou em 43,7. Na totalidade do período em estudo, o ano de 2011 foi o período em que o número de isolamentos de *Klebsiella* não só oscilou em torno do menor valor verificado ao longo dos anos, como também apresentou a menor variabilidade.

Em outubro de 2012 é evidenciado um número muito elevado de isolamentos de *Klebsiella*, tendo o valor ascendido a 63 isolamentos. Apesar de nos meses seguintes o número de isolamentos mensais ter retornado a valores mais baixos, em agosto de 2013 verifica-se um novo aumento no qual o número de isolamentos de *Klebsiella* ascendeu a 67, o maior valor do período em estudo. Após agosto de 2013, mesmo sendo observada uma tendência no sentido da diminuição, os isolamentos mensais de *Klebsiella* não regressaram aos valores verificados no ano de 2011, tendo permanecido em valores quase sempre superiores. O número médio de isolamentos de microrganismos do género *Klebsiella* entre janeiro de 2012 e março de 2014 foi de 41,5.

Recorrendo mais uma vez ao teste para a igualdade dos valores médios, foi possível confirmar a diferença significativa no número médio de isolamentos de *Klebsiella* entre o ano de 2010 e o ano de 2011, e entre o ano de 2011 e os períodos posteriores (consultar Tabela A.2.1 (f) e (g)).

Na Figura 4.10 é possível observar a evolução mensal do género *Acinetobacter*.

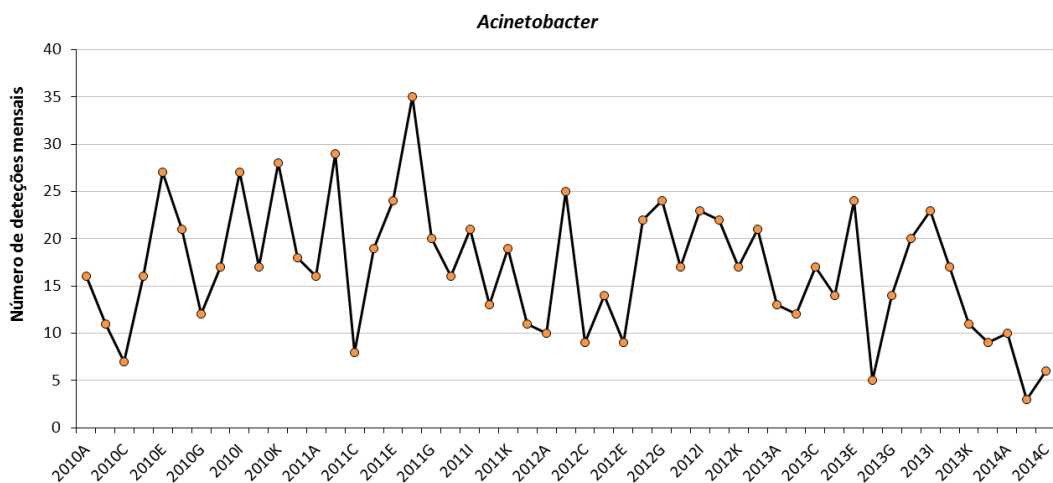


Figura 4.10 Evolução do género *Acinetobacter*

Face à evolução deste género, de salientar a existência de uma variabilidade relativamente alta ao longo do tempo. De notar uma ligeira tendência decrescente desde julho de 2012 que se tornou mais pronunciada a partir de setembro de 2013.

Por fim, na Figura 4.11 encontra-se a evolução mensal do género *Proteus*.

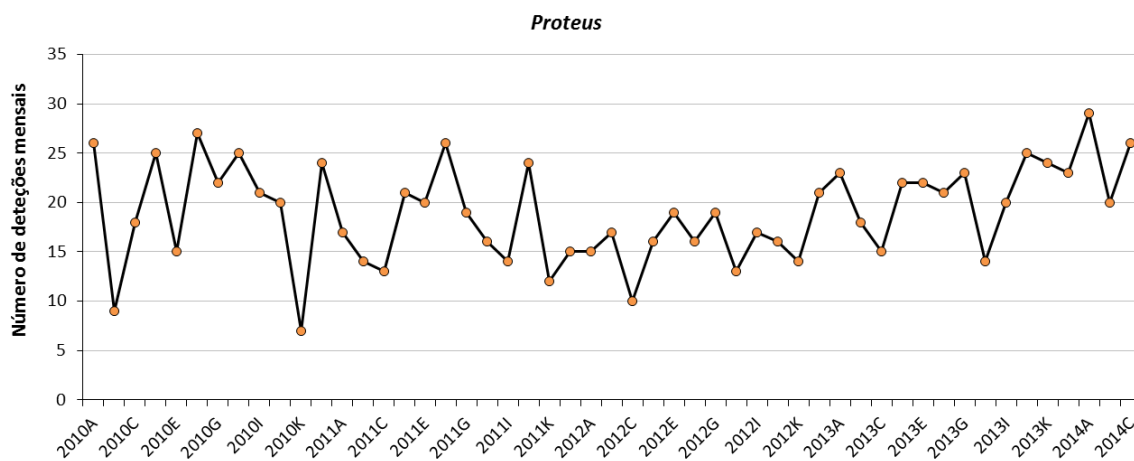


Figura 4.11 Evolução do género *Proteus*

A partir de dezembro de 2012 é visível uma tendência crescente do número de microrganismos do género *Proteus* detetados que se mantém até ao final do período em estudo. De facto, a partir de dezembro de 2012 foram detetados em média 21,6 microrganismos do género *Proteus*. Este valor encontrava-se até então em 17,8 isolamentos

mensais em média. Esta tendência acompanha igualmente a evolução dos géneros *Pseudomonas* e *Klebsiella*. Verifica-se, de facto, a existência de correlação linear positiva entre os géneros *Proteus* e *Pseudomonas* com um coeficiente de 0,541, e entre os géneros *Proteus* e *Klebsiella* com um coeficiente de 0,525.

Novamente com o recurso ao teste para a igualdade dos valores médios (consultar Tabela A.2.1 (h)) confirmou-se a diferença entre o valor médio de isolamentos de microrganismos do género *Proteus* no período anterior a dezembro de 2012 e no período a partir de dezembro de 2012.

A Tabela 4.1 evidencia a evolução do número de isolamentos de cada género de microrganismos destacados neste capítulo, considerando intervalos temporais de seis meses.

	2010	2011		2012		2013		2014
	jul - dez	jan - jun	jul - dez	jan - jun	jul - dez	jan - jun	jul - dez	jan - mar
<i>Staphylococcus</i>	↘	↗	↘	↘	↘	↗	↘	↘
<i>Escherichia</i>	↘	↗	↘	↘	↘	↗	↘	↘
<i>Pseudomonas</i>	↗	↘	↘	↘	↗	↘	↗	↗
<i>Candida</i>	↘	↘	↘	↗	↘	↗	↘	↗
<i>Enterococcus</i>	↘	↗	↗	↘	↘	↗	↘	↗
<i>Klebsiella</i>	↗	↘	↘	↘	↗	↘	↗	↘
<i>Acinetobacter</i>	↗	↗	↘	↘	↗	↘	↗	↘
<i>Proteus</i>	↘	↘	↘	↘	↗	↗	↗	↗

Tabela 4.1 Quadro resumo da evolução dos géneros de microrganismos

Após a análise da evolução dos principais géneros de microrganismos, dos indicadores construídos onde se procedeu à agregação dos principais microrganismos causadores de infeções hospitalares, e da análise da evolução de todos os microrganismos detetados na globalidade do hospital, procede-se agora à exposição da evolução do número de isolamentos de microrganismos nos diversos serviços hospitalares.

## 4.2 Evolução por serviço hospitalar

A evolução do número de isolamentos dos microrganismos potenciais causadores de infeções hospitalares nos diversos serviços é considerada relevante não só do ponto de vista estatístico onde se procura compreender o comportamento dos indivíduos, mas também do ponto de vista epidemiológico. Assim sendo, da Figura 4.12 à Figura 4.19 é possível observar a evolução do número de isolamentos dos microrganismos nos principais serviços anteriormente destacados. Relembre-se que estes são constituídos pelos seguintes serviços (codificados): S24, S12, S13, S29, S31, S2, S22 e S4. No seu conjunto, estes serviços são responsáveis por cerca de metade de todos os microrganismos detetados em colheitas.

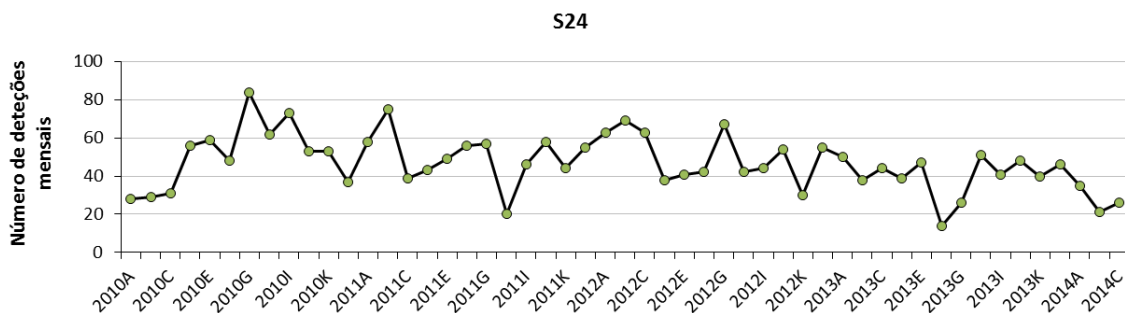


Figura 4.12 Evolução no Serviço S24

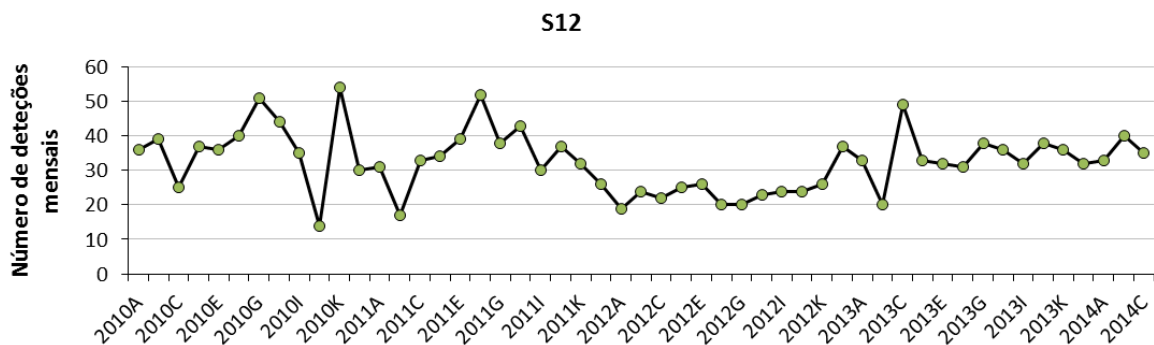


Figura 4.13 Evolução no Serviço S12

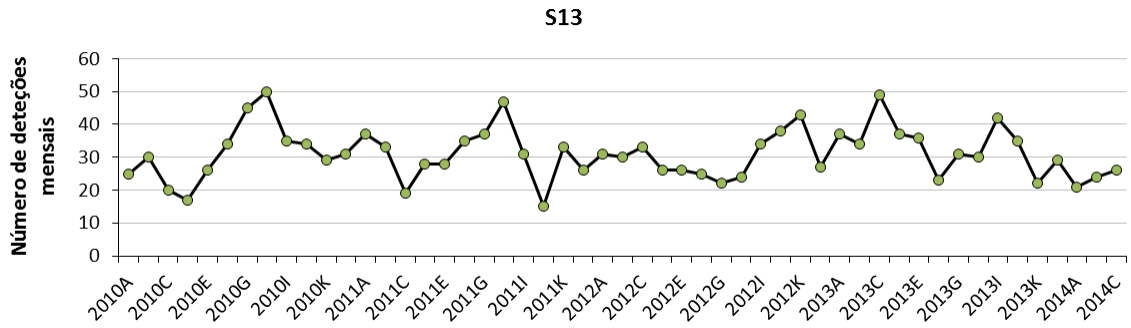


Figura 4.14 Evolução no Serviço S13

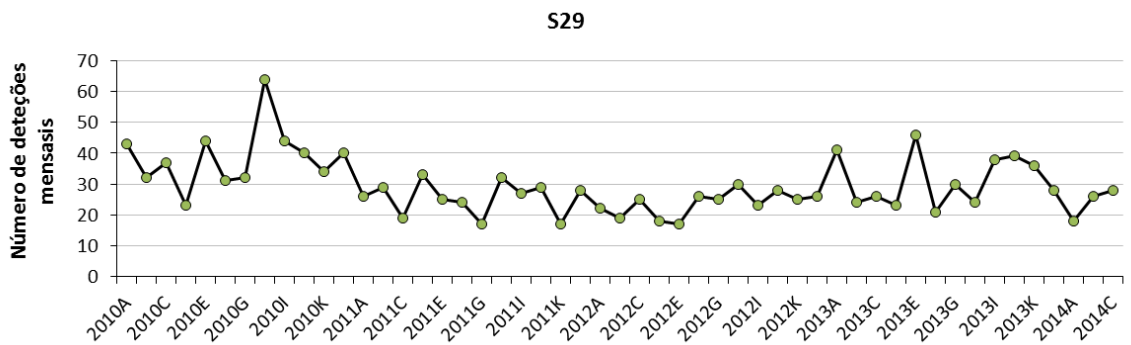


Figura 4.15 Evolução no Serviço S29

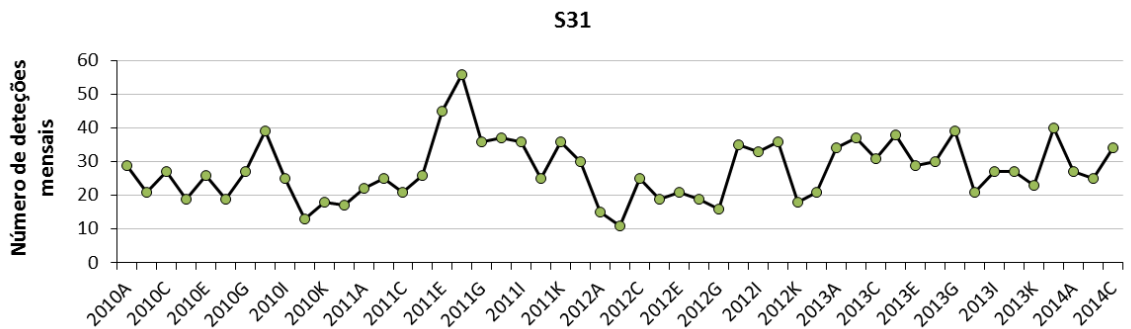


Figura 4.16 Evolução no Serviço S31

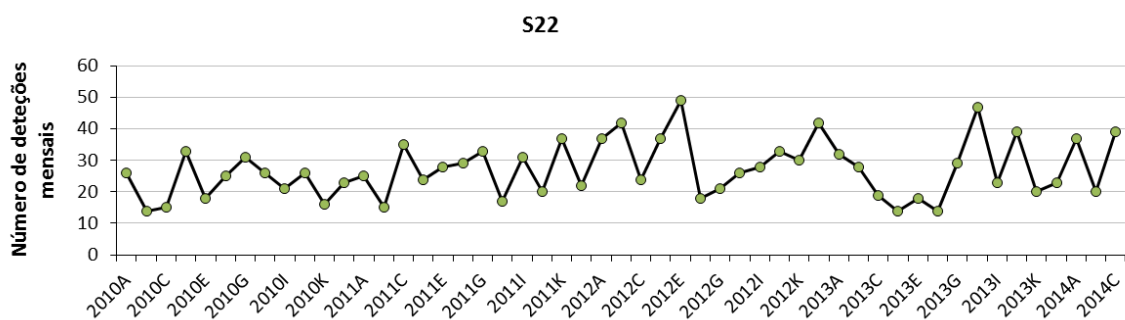


Figura 4.17 Evolução no Serviço S22

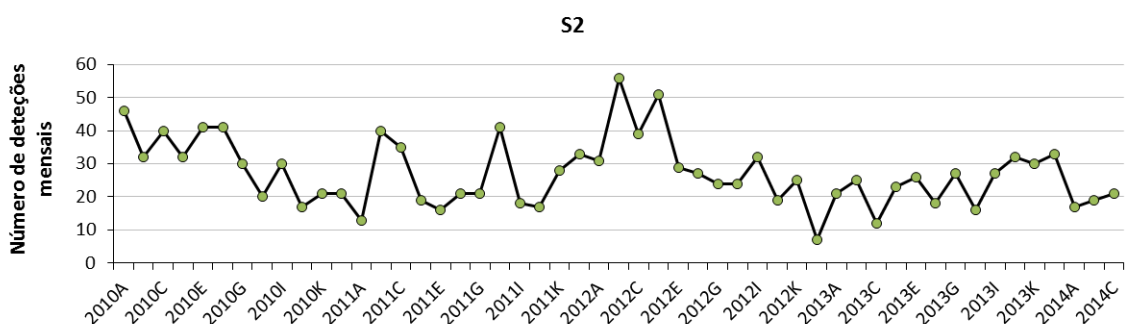


Figura 4.18 Evolução no Serviço S2

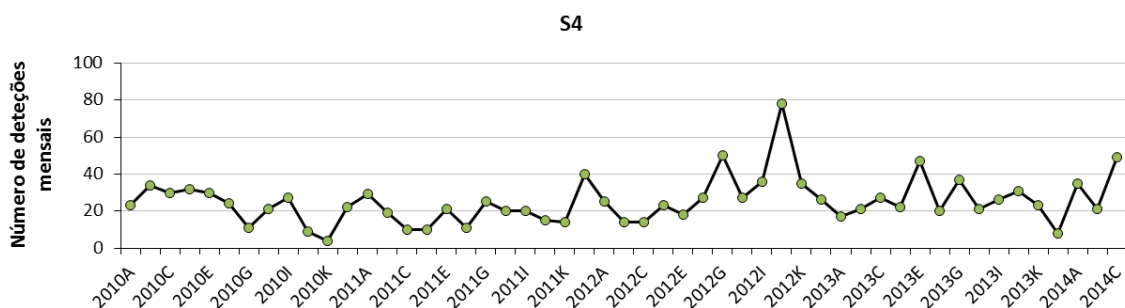


Figura 4.19 Evolução no Serviço S4

Face à evolução dos microrganismos nos principais serviços, esta tem sido razoavelmente estável sem apresentar tendências na maior parte dos casos, tendo até sido verificada uma ligeira tendência decrescente ao longo do tempo no serviço S24. Surgem, no entanto, duas situações para as quais se chama a atenção e que estão relacionadas com a evolução do número de microrganismos no serviço S12 e no Serviço S31.

No caso do serviço S12, face aos anos anteriores, no período decorrente entre janeiro e novembro de 2012 assistiu-se a uma reduzida existência de microrganismos detetados face aos restantes períodos. De facto, o número médio de isolamentos de microrganismos no serviço S12 foi de 35,5 no período entre 2010 e 2011, e de 23 entre janeiro e novembro de 2012. Mais uma vez recorreu-se ao teste para a igualdade dos valores médios (consultar Tabela A.2.1 (i)) para confirmar a diferença nos valores médios.

Por outro lado, a partir de dezembro de 2012, o serviço S12 tem visto o número de isolamentos de microrganismos crescer. Contrastando com um número médio de 23 isolamentos por mês entre janeiro e novembro de 2012, entre dezembro de 2012 e março de 2014, este número ascendeu a aproximadamente 34,7. O teste para a igualdade dos valores médios comprova novamente a diferença entre os valores médios (consultar Tabela A.2.1 (j)).

Quanto ao serviço S31, de notar que em junho de 2011 foi atingido o maior valor de todo o período em estudo neste serviço, tendo o número de isolamentos de microrganismos ascendido a 56. De facto, de maio a dezembro de 2011 verificou-se que, face ao período anterior, os valores foram quase sempre mais elevados, tendo sido detetados, em média, 37,6 microrganismos por mês. Nos períodos anteriores este valor ascendia a apenas 23,4. O teste para a igualdade dos valores médios permitiu confirmar a diferença entre os valores médios nestes períodos (consultar Tabela A.2.1 (k)).

Por outro lado, verifica-se que a partir de agosto de 2012 há uma ligeira tendência crescente face ao número de microrganismos detetados nesse serviço. A partir deste mês, o número médio de isolamentos por mês foi de 30,3. Comparativamente com o período anterior a maio de 2011, o qual aparentou estar sob controlo com um valor médio de 23,4 isolamentos por mês, este aumento ainda foi significativo. Com o recurso ao teste para a igualdade dos valores médios foi possível confirmar esta diferença nos valores médios (consultar Tabela A.2.1 (l)).

A Tabela 4.2 evidencia a evolução do número de isolamentos de microrganismos detetados em cada serviço. Mais uma vez foram considerados intervalos temporais de seis meses.

	2010	2011		2012		2013		2014
	jul - dez	jan - jun	jul - dez	jan - jun	jul - dez	jan - jun	jul - dez	jan - mar
S24	↗	↘	↘	↗	↘	↘	↗	↘
S12	↗	↘	↘	↘	↗	↗	↗	↗
S13	↗	↘	↗	↘	↗	↗	↘	↘
S29	↗	↘	↘	↘	↗	↗	↗	↘
S31	↘	↗	↗	↘	↗	↗	↘	↘
S22	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↗	↗
S2	↘	↗	↗	↗	↘	↘	↗	↘
S4	↘	↗	↗	↘	↗	↘	↘	↗

Tabela 4.2 Quadro resumo da evolução dos isolamentos detetados por serviço hospitalar

### 4.3 Conclusão

A evolução do número de isolamentos da globalidade dos microrganismos causadores de infeções hospitalares tem sido estável, tendo-se verificado até uma diminuição face aos meses iniciais do período em estudo.

Concluiu-se que a evolução da globalidade destes microrganismos pode ser bem representada por apenas alguns géneros para os quais se construiu um indicador. Por sua vez, evidenciou-se ainda que a evolução destes géneros se deve a apenas algumas espécies para as quais foi também construído um indicador. A evolução de ambos os indicadores seguiu de perto a evolução do número de microrganismos detetados na globalidade do hospital, denotando relativa estabilização.

Para cada género frequente procedeu-se a uma breve descrição da sua evolução, tendo-se recorrido ao teste para a igualdade dos valores médios para confirmar as diferenças nos valores médios de isolamentos em diferentes períodos, sempre que necessário. Dessa análise resultou que o número de isolamentos dos géneros *Staphylococcus*, *Pseudomonas* e *Acinetobacter* apresentou, ao longo do tempo, uma tendência decrescente. Já o número de isolamentos dos géneros *Escherichia*, *Candida* e *Enterococcus* apresentou estabilidade no

período em análise. No entanto, o número de isolamentos dos géneros *Klebsiella* e *Proteus* apresentou nos períodos mais recentes uma tendência crescente que se mantém atualmente. Por esse motivo, para estas duas estirpes de microrganismos serão desenvolvidas cartas de controlo para a monitorização da sua prevalência, procurando-se evidenciar em que medida as cartas de controlo poderiam ter sido úteis para alertar atempadamente para uma situação de crescimento.

Em relação aos serviços, o número de isolamentos de microrganismos causadores de infeções hospitalares tem sido estável ao longo do tempo, tendo nalguns casos até diminuído, tal como se verifica no serviço S24. No entanto, o número de isolamentos nos serviços S12 e S31 tem evidenciado uma tendência crescente, nomeadamente nos períodos mais recentes. Por esse motivo, estes serviços serão alvo de um eventual interesse acrescido face à construção de cartas de controlo para a monitorização do número de microrganismos que são detetados apenas em doentes internados nesse serviço.

## Capítulo 5 - Construção de cartas de controlo

A análise de dados realizada no Capítulo 3 permitiu identificar algumas situações em que a implementação de cartas de controlo terá um maior interesse potencial. De facto, verificou-se que a variabilidade do número de isolamentos de microrganismos causadores de infeções hospitalares se deve apenas a alguns.

Segundo Lucas (1985), no caso de atributos, os esquemas de controlo são mais frequentemente utilizados para detetar aumentos na taxa de ocorrências. É assim usual a utilização de cartas de controlo unilaterais. Os esquemas de controlo bilaterais são recomendados quando, por exemplo, um decréscimo significativo na taxa de ocorrências despoleta uma investigação que pode conduzir a melhorias de *performance*, sendo por isso importante detetar não só aumentos como também diminuições. Segundo Lucas e Crosier (1982 a), citando Lucas (1985), apesar de ser possível avaliar as propriedades de um esquema bilateral diretamente, normalmente é mais fácil obter as propriedades de um esquema bilateral combinando os resultados de dois esquemas unilaterais.

Na área da saúde, nomeadamente no controlo de infeções, tipicamente serão desenvolvidas cartas unilaterais. No caso em estudo, as cartas serão mais frequentemente utilizadas para detetar uma alteração na taxa de isolamentos de microrganismos no sentido ascendente. No entanto, lembre-se que por vezes a construção de cartas unilaterais para a deteção de diminuições também pode ser útil, nomeadamente quando se procura apurar se uma determinada diminuição poderá ter sido consequência de uma melhoria introduzida, por exemplo.

Assim sendo, e uma vez que o objetivo principal do estudo é procurar monitorizar a evolução do número de microrganismos detetados, evitando a sua proliferação, irão ser construídas cartas de controlo unilaterais superiores para detetar aumentos no número de isolamentos.

## 5.1 Cartas de controlo com e sem memória

O estudo sobre a evolução do número de isolamentos de microrganismos do género *Proteus* levado a cabo no Capítulo 4 permitiu evidenciar uma clara tendência crescente nos períodos mais recentes, nomeadamente a partir do final do ano de 2012. Assim sendo, optou-se por proceder à construção de cartas de controlo unilaterais superiores para monitorizar a evolução do número de microrganismos do género *Proteus* a partir de dezembro de 2012 no hospital.

A Figura 5.1 representa uma carta-c de Shewhart com limite de controlo superior 3-sigma para a monitorização do número de isolamentos mensais do género *Proteus* a partir de dezembro de 2012. Conforme foi oportunamente referido, constatou-se que a partir de dezembro de 2012 foi notória uma tendência crescente no número de isolamentos mensais de microrganismos do género *Proteus* no hospital. De facto, a diferença entre o valor médio de isolamentos mensais no período que antecedeu dezembro de 2012 face ao período a partir deste mês foi devidamente confirmada com recurso a um teste para a igualdade dos valores médios. Relembre-se que, enquanto a partir de dezembro de 2012 foram detetados em média 21,6 microrganismos deste género por mês, nos períodos anteriores este valor encontrava-se em 17,8. Assim sendo, os dados provenientes dos períodos anteriores a dezembro de 2012 foram utilizados na Fase I para a construção dos limites de controlo da carta. Posteriormente procedeu-se à monitorização do número de isolamentos mensais a partir de dezembro de 2012 na Fase II.

A linha central (LC) e o limite superior de controlo (LSC) da carta construída,

$$\boxed{LC = c \quad e \quad LSC = c + 3\sqrt{c},} \quad (5.1)$$

assumem neste caso os valores que se encontram em (5.2):

$$\boxed{LC = 17,77 \quad e \quad LSC = 30,42 .} \quad (5.2)$$

Analisando a carta-c de Shewhart construída, verifica-se que em nenhum momento foi emitido um alarme. Através desta carta, é possível observar que a taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus* aparenta estar sob controlo no período monitorizado.

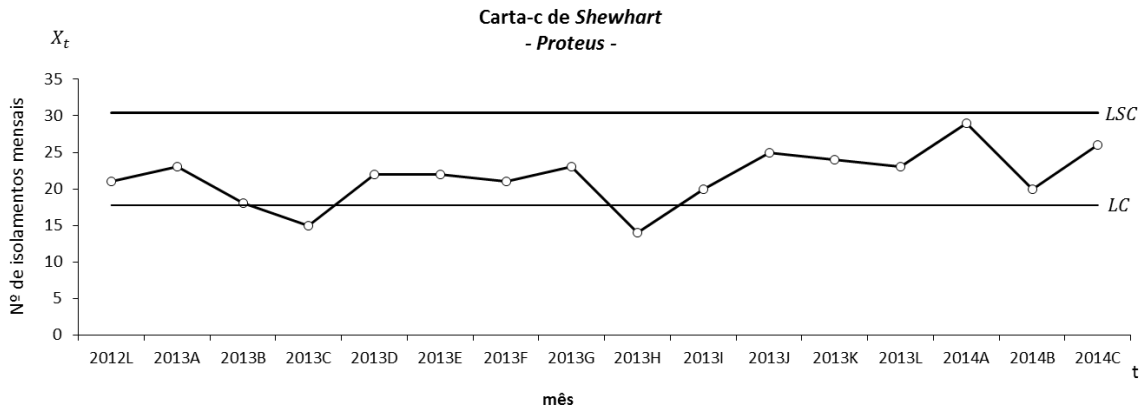


Figura 5.1: Carta-c de Shewhart para a taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus* com limite superior de controlo 3-sigma.

Na Figura 5.2 a mesma carta foi representada tendo sido adicionados ao limite superior de controlo 3-sigma, limites de controlo estabelecidos a uma distância de 2-sigma face à linha central e a uma distância de 1-sigma face à linha central de forma a tornar a carta mais sensível a alterações menores. O valor do desvio padrão foi estimado pelo desvio padrão amostral referente ao período antecedente a dezembro de 2012.

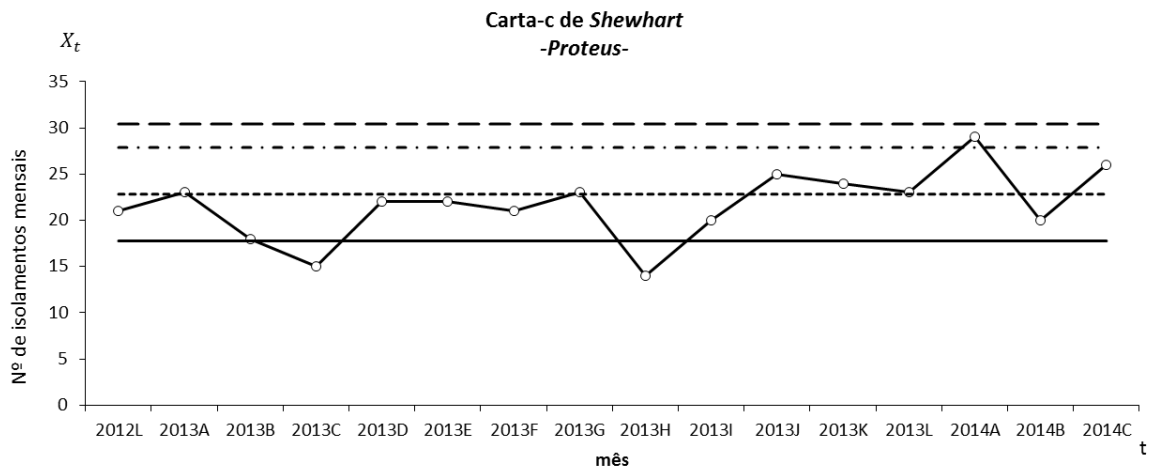


Figura 5.2 Carta-c de Shewhart para taxa média mensal de microrganismos género *Proteus* com LC (—) e limites de controlo 3-sigma (- - -), 2-sigma (- . -) e 1-sigma (···).

Verifica-se que, com a utilização de limite superior de controlo 2-sigma, a carta emite um sinal em janeiro de 2014. Para além disso, aplicando os testes de *runs* apresentados no Capítulo 2, verifica-se que a regra número três foi quebrada, tendo-se constatado que quatro de cinco pontos consecutivos se encontraram afastados da linha central a uma distância compreendida entre 1 e 3-sigma. Considerando o período de outubro de 2013 a fevereiro de 2014, os quatro primeiros meses desse período estiveram de facto compreendidos no intervalo entre 1 e 3-sigma.

Tal como referido no Capítulo 3 aquando da análise do ajustamento de distribuições aos dados em estudo, apesar de dados provenientes de contagens ao longo do tempo poderem ser bem modelados por uma distribuição de Poisson, a sua agregação mensal conduz ao aumento do parâmetro associado à distribuição, sendo que, para além do aumento do valor da média, a distribuição torna-se ainda menos assimétrica, aproximando-se da distribuição normal. Por esse motivo, são muitas vezes implementadas cartas de controlo sob a hipótese de normalidade, mesmo quando a distribuição real dos dados não é exactamente normal.

Num primeiro momento será apresentada uma carta CUSUM unilateral com limite superior com o objetivo de monitorizar a taxa média de isolamentos de microrganismos do género *Proteus* no mesmo período que a carta-c de Shewhart anteriormente apresentada, ou seja, entre dezembro de 2012 e março de 2014.

Pela experiência de Morton *et al.* (2001), os profissionais de saúde aceitam melhor a utilização deste método estatístico quando o mesmo é exposto recorrendo a duas representações: uma simples carta para as observações individuais, e uma outra mais complexa que assenta na estatística de controlo da carta CUSUM. A carta CUSUM para observações individuais representa o número acumulado de isolamentos mensais de microrganismos do género *Proteus* e pode ser observada na Figura 5.3. Desta forma, obtém-se uma tendência ascendente das somas acumuladas de isolamentos ao longo do tempo. Por sua vez, na carta CUSUM, a estatística de controlo assinala que o processo está fora de controlo quando a taxa média de eventos adversos excede um valor pré-determinado, significando que a alteração no processo se deveu a uma causa especial. No estudo de caso, tal significa que quando o número de microrganismos do género *Proteus*

ultrapassa um certo valor pré-determinado, é provável que o elevado valor se tenha devido a uma causa especial, devendo o alerta ser emitido à Comissão de Controlo de Infecção para que possa atuar por forma a controlar a situação.

A carta CUSUM para observações individuais tem por vezes a formulação apresentada em (5.3), a qual foi utilizada para a construção da carta que se encontra na Figura 5.3,

$$S_t = X_t + S_{t-1}, \tag{5.3}$$

onde  $S_0 = 0$ .

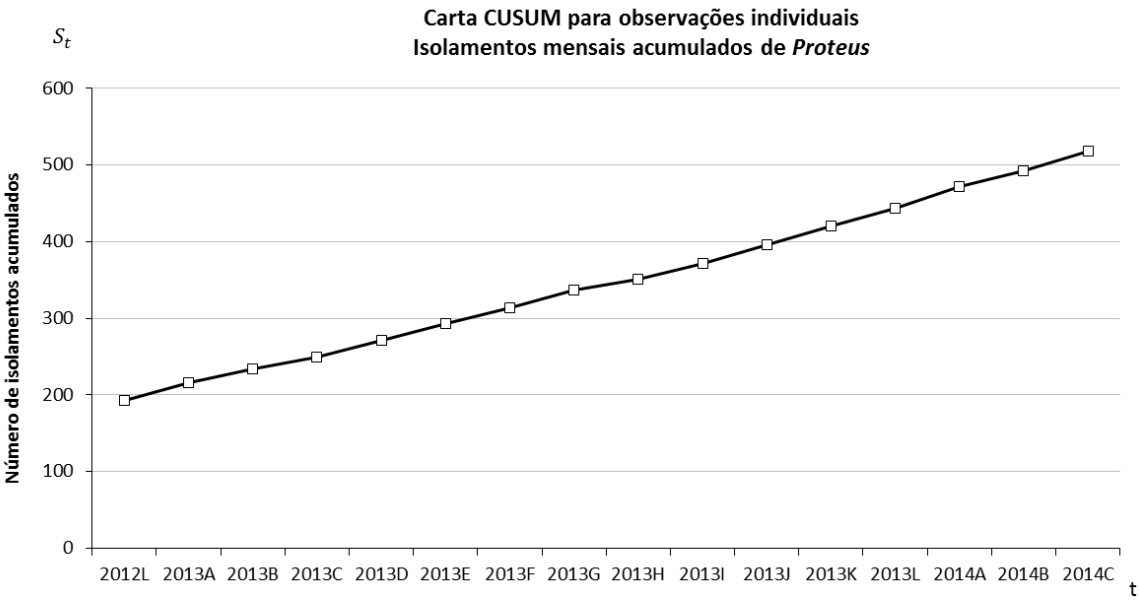


Figura 5.3 Carta CUSUM observacional para a taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus*.

Alternativamente, em virtude da soma cumulativa ser sempre crescente, é mais adequado utilizar a estatística de controlo definida em (5.5), que é equivalente à carta CUSUM para deteção de aumentos. Para uma melhor visualização dos valores representados nas cartas CUSUM, os dados serão normalizados.

Seja  $X_t$  o número de isolamentos de microrganismos do género *Proteus* no mês  $t$ . A estatística normalizada  $W_t$  é obtida segundo (5.4),

$$W_t = \frac{X_t - \hat{\mu}_0}{\hat{\sigma}_0}, \quad (5.4)$$

onde  $\hat{\mu}_0$  e  $\hat{\sigma}_0$  são as estimativas usuais (média amostral e desvio padrão amostral) de  $\mu_0$  e  $\sigma_0$ . Note-se que  $E(W_t) = 0$  e  $V(W_t) = 1$ .

Em seguida procedeu-se à construção da carta de somas acumuladas assente na estatística de controlo CUSUM. Para o cálculo da estatística-CUSUM utilizou-se a formulação apresentada em (5.5):

$$S_t = \max(0; W_t - K + S_{t-1}). \quad (5.5)$$

Relembre-se que, segundo Montgomery (2013), utilizar  $h = 4$  ou  $h = 5$  conduz geralmente a uma carta CUSUM que tem boas propriedades em termos de ARL quando se pretende detetar uma alteração na média do processo de cerca de  $1\sigma$  em que  $\sigma$  é o desvio padrão da variável a monitorizar. Neste caso, uma vez que se procedeu à normalização dos dados,  $\sigma_{W_t} = 1$  sendo  $H = h$ .

Conforme foi também referido, é usual estabelecer o valor de referência  $K$  como o ponto médio entre o valor desejado  $\mu_0$  e o valor  $\mu_1$  a partir do qual se pretende que a carta detete uma alteração.

$$K = \frac{|1 - 0|}{2} = 0,5. \quad (5.6)$$

Desta forma, para detetar alterações de  $1\sigma$ , o valor de referência vem  $K = 0,5$ . De referir ainda que foi estabelecido um valor inicial para o início da carta diferente de zero. Este procedimento, denominado *Fast Initial Response* (FIR) foi defendido por Lucas e Crosier

(1982a) de forma a melhorar a sensibilidade da carta quer no início do processo de monitorização, quer após a emissão de um alarme. Segundo Montgomery (2013), uma maior sensibilidade no arranque da carta será desejável se as ações corretivas não fazem os valores regressar ao valor desejado quando são aplicadas. Este valor, denominado *Head Start* é tipicamente calculado como sendo metade do intervalo de decisão. Neste caso, será estabelecido em 2,5. Caso o processo se inicie sob controlo, os valores da estatística CUSUM rapidamente tendem para zero, tendo a aplicação do método FIR pouco impacto na *performance* da carta. De forma a compensar o decréscimo provocado no valor de ARL, pode ser utilizado um valor de  $H$  ligeiramente superior ao que seria utilizado numa carta sem FIR. Por esse motivo, decidiu-se estabelecer  $H = 5$ .

Uma vantagem adicional de utilizar este procedimento é o facto de, caso o processo se inicie com um valor médio superior ao pretendido, essa situação é detetada mais rapidamente pela carta (Figueiredo, 1995). A Tabela 5.1 contém os valores de parametrização utilizados para a construção da carta CUSUM apresentada na Figura 5.4.

Parâmetros da carta		
$\mu_0$	média desejada	0
$\sigma_0$	desvio padrão desejado	1
$\mu_1$	média limite [ $1\sigma$ ]	1
$H$	intervalo de decisão	5
$K$	valor de referência	0,50

Tabela 5.1: Parâmetros da carta CUSUM da Figura 5.4

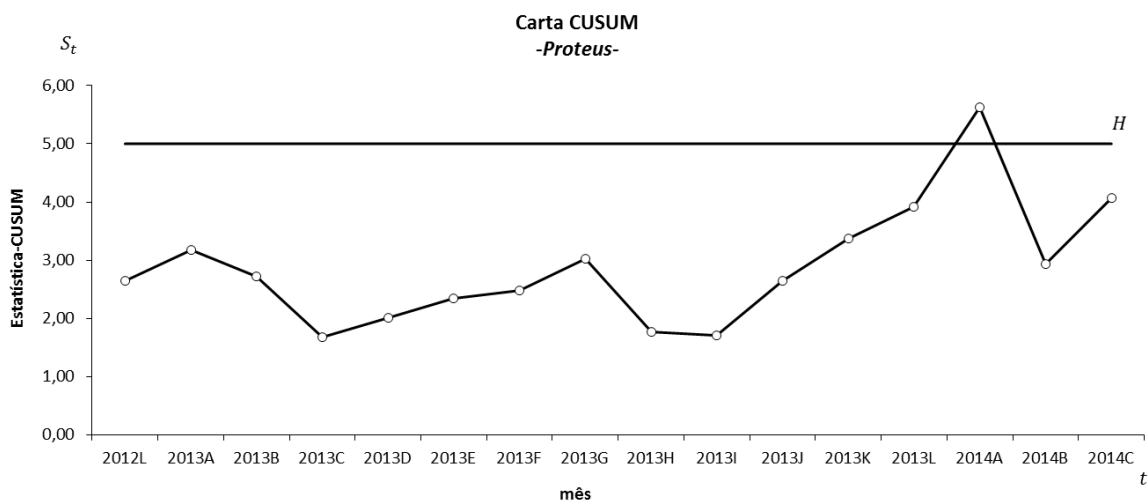


Figura 5.4 Carta CUSUM para a taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus* com *FIR* e *reset*.

Note-se que em janeiro de 2014 foi emitido um alarme. Em diálogo com as supervisoras do núcleo executivo da Comissão de Controlo de Infecção (CCI), foi referido que mesmo quando são implementadas estratégias de prevenção face a elevados isolamentos, não é expectável que o número de microrganismos atinja o valor zero, sendo mesmo irreal fazer tal assunção. Desta forma, quando a carta emitiu o alarme em janeiro de 2014 foi pressuposto que, tendo havido lugar à investigação por parte de membros da Comissão sobre as causas dos elevados valores, que tenha conduzido a uma maior atenção e reforço dos cuidados pelos profissionais de saúde, a carta tenha sofrido um *reset* tendo a contagem do número de isolamentos sido reiniciada a partir de um valor de *head-start* igual a 2,5.

De seguida foi considerado o cenário em que nenhuma ação, nem mesmo a investigação dos membros da Comissão, foi levada a cabo. Neste caso, a carta não teria sofrido qualquer *reset* e o resultado seria o observado na carta da Figura 5.5.

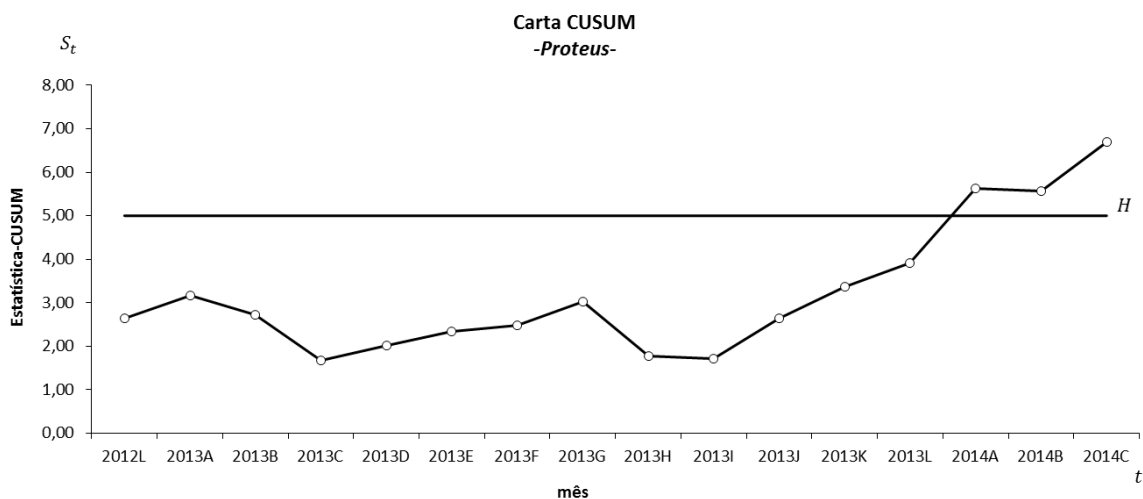


Figura 5.5 Carta CUSUM para a taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus* com FIR e sem reset.

Repare-se que neste caso, após a emissão do alarme em janeiro de 2014, a carta continuaria a demonstrar que o número de isolamentos de microrganismos do género *Proteus* está fora de controlo.

Na indústria, após a emissão de um alarme, é muitas vezes possível parar o processo, investigar o que pode ter causado o sinal de fora de controlo, proceder às correções necessárias e reiniciar a monitorização do processo. Já no caso de aplicações na área da saúde e segurança pública, o processo poderá não ser parado facilmente (Schuh *et al.*, 2013). Por outro lado, é preciso ter em consideração que existem dúvidas sobre os efeitos de uma mudança no processo. As intervenções da CCI, a vigilância epidemiológica por si só, e a atenção dos profissionais de saúde aos resultados das colheitas são apenas alguns dos intervenientes num processo multifacetado e altamente sensível composto por inúmeras intervenções de diversos agentes. Assim, torna-se incerto qual o valor do *reset* que deverá ser considerado. Em esforço conjunto com os profissionais de saúde, a descoberta destes efeitos esperados, nomeadamente a sua quantificação para que possam ser considerados pela carta através de um valor realista para o *head-start*, pode melhorar a utilidade das cartas significativamente. Assim sendo, considera-se benéfica a interação entre o analista e os profissionais da área para que as cartas de controlo possam ser construídas tomando em consideração particularidades que advêm do conhecimento proporcionado pela experiência

dos profissionais de saúde, nomeadamente da CCI. Reitera-se assim a ideia de que existe espaço na formulação destas ferramentas para acomodar especificidades da problemática a que são aplicadas, e em última instância dos objetivos que pretendem servir.

De seguida foi construída uma carta EWMA para a monitorização da taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus* isolados a partir de dezembro de 2012. Relembre-se que tal como as cartas CUSUM, as cartas EWMA são métodos “com memória” pois atribuem uma ponderação ao passado para que o histórico do processo seja sempre contabilizado no cálculo da estatística de controlo atual. Conforme foi já referido no Capítulo 2, o processo de parametrização da carta EWMA passa pela escolha dos valores de  $L$  e  $\lambda$ , que representam o múltiplo do desvio padrão da estatística de controlo utilizado para o cálculo dos limites de controlo, e o peso atribuído à observação atual respetivamente. Segundo Montgomery (2013), estabelecer um valor de  $\lambda$  compreendido no intervalo  $0,05 \leq \lambda \leq 0,25$  funciona bem na prática sendo  $\lambda = 0,05$ ;  $\lambda = 0,1$  e  $\lambda = 0,2$  escolhas usuais. Uma boa regra a aplicar é a utilização de valores de  $\lambda$  menores para detetar alterações menores. Montgomery (2013) descobriu ainda que utilizar  $L = 3$  (coincidente com os usuais limites de controlo 3-sigma), funciona razoavelmente bem, particularmente com valores mais elevados de  $\lambda$ . No entanto, quando  $\lambda$  é reduzido, como por exemplo  $\lambda \leq 0,1$  existe vantagem em reduzir a distância entre os limites de controlo utilizando um valor de  $L$  compreendido entre 2,6 e 2,8.

Relembre-se que, tal como referenciado na expressão (2.24), o valor da estatística de controlo  $Z_t$  monitorizada pela carta EWMA é dada por:

$$z_t = (1 - \lambda)z_{t-1} + \lambda X_t, \quad (5.7)$$

onde  $z_0 = \mu_0$  e  $\lambda \in [0,1]$  é o parâmetro de ponderação.

Os valores  $X_t$  do processo consideram-se  $N(\mu_0, \sigma_0)$ , sob controlo.

Sendo o objetivo mais uma vez a deteção de aumentos na taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus*, na construção da carta apenas foi considerado o limite superior de controlo e a linha central, dados por (5.8):

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \mu_0 + L\sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} [1 - (1 - \lambda)^{2t}], \\ \text{LC} &= \mu_0. \end{aligned} \tag{5.8}$$

Na construção da carta EWMA que se encontra na Figura 5.6, foram utilizados os valores de parametrização da Tabela 5.2.

Parâmetros da carta		
<b>L</b>	múltiplo de $\sigma_{Z_t}$ utilizado para o cálculo dos limites de controlo	3
<b><math>\lambda</math></b>	ponderação	0,2

Tabela 5.2 Valores de parametrização da carta EWMA da Figura 5.6

De referir que se procedeu novamente à normalização dos dados para uma melhor visualização da carta. A Figura 5.6 representa assim a carta EWMA para a monitorização de isolamentos de microrganismos do género *Proteus* na globalidade dos serviços do hospital no período a partir de dezembro de 2012.

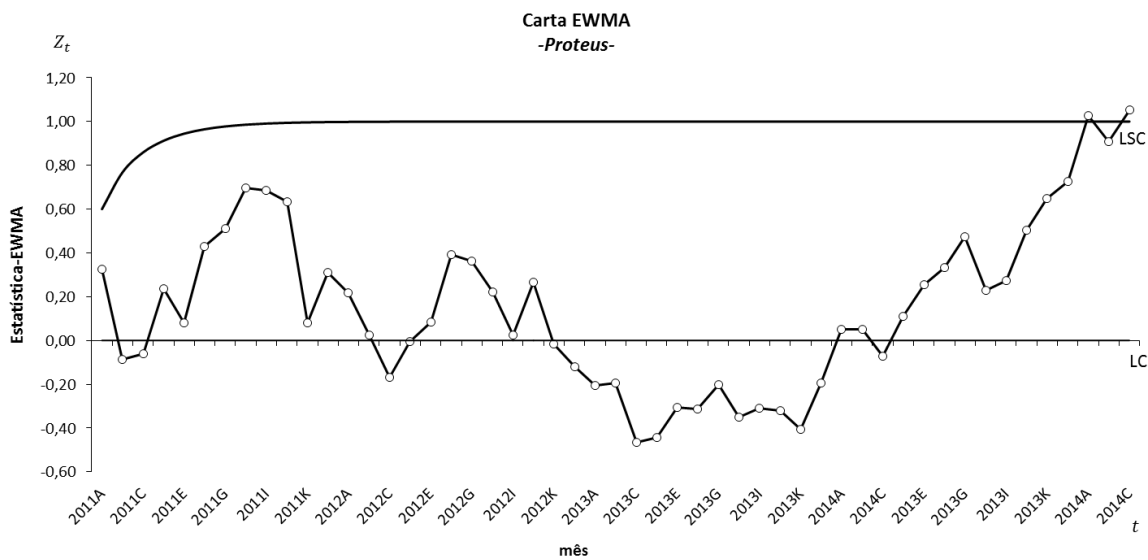


Figura 5.6 Carta EWMA para a taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus*

Em janeiro de 2014 foi emitido um alarme, alertando que o número de microrganismos do género *Proteus* saiu fora de controlo. Apesar do número de isolamentos mensais ter voltado a estar compreendido entre os limites de controlo em fevereiro de 2014, em março foi emitido um novo alarme novamente para uma situação de fora de controlo. Relembre-se que tanto a carta EWMA como a carta CUSUM emitiram um alarme em janeiro de 2014 ao contrário da carta-c de Shewhart com limites de controlo 3-sigma. Evidencia-se desta forma o maior poder das cartas “com memória” em detetar alterações menores que não são detetadas nas simples cartas de Shewhart com os usuais limites de controlo 3-sigma. De referir no entanto face às cartas de Shewhart, que a aplicação das regras de *runs* para o reconhecimento de padrões não naturais, pode tornar as cartas muito mais eficientes em detetar alterações menores. No caso apresentado, a regra número três – 4 em 5 observações consecutivas a uma distância da média entre 1-sigma e 3-sigma – foi quebrada em janeiro de 2014, no mesmo período em que as cartas CUSUM e EWMA emitiram o alarme.

Conforme foi referido anteriormente, a simplicidade de interpretação das cartas de controlo é uma das maiores vantagens destas ferramentas. Considera-se assim que num contexto prático é de esperar que a utilização das cartas CUSUM e EWMA por

profissionais de saúde seja preferível à utilização de cartas-c de Shewhart com aplicação das regras de *runs*.

## 5.2 Outras cartas

As cartas construídas para monitorizar a taxa média de microrganismos do género *Proteus* permitiram identificar uma alteração do processo no sentido ascendente. No entanto, nem todos os géneros de microrganismos têm tido uma evolução semelhante a este género. De facto, para a maior parte das variáveis, a taxa média de isolamentos ao longo do tempo aparenta ser estável ou até decrescente nalguns casos.

A utilidade das cartas de controlo estende-se para além da deteção de aumentos na taxa de ocorrências. Quando o processo está estável, a verificação de que as observações oscilam em torno da linha central assumindo valores contidos entre os limites de controlo, ou, para o caso das cartas CUSUM, abaixo do valor H, permitem concluir pelo estado de controlo estatístico, o que se pode revelar igualmente útil.

A título ilustrativo considere-se a monitorização da variável *Candida* para a qual se construiu uma carta-c de Shewhart, uma carta CUSUM e uma carta EWMA. Este microrganismo representa o comportamento padrão da maior parte dos restantes. Tendo-se verificado que a sua evolução esteve consideravelmente estável no ano de 2012, tendo o número médio de isolamentos mensais oscilado em torno de 45 isolamentos, este período foi utilizado para a construção do limite de controlo superior. Na Figura 5.7 é possível observar a carta-c de Shewhart que monitoriza a taxa média de isolamentos mensais de *Candida* entre janeiro de 2013 e março de 2014. Foram mais uma vez utilizados os usuais limites de controlo 3-sigma.

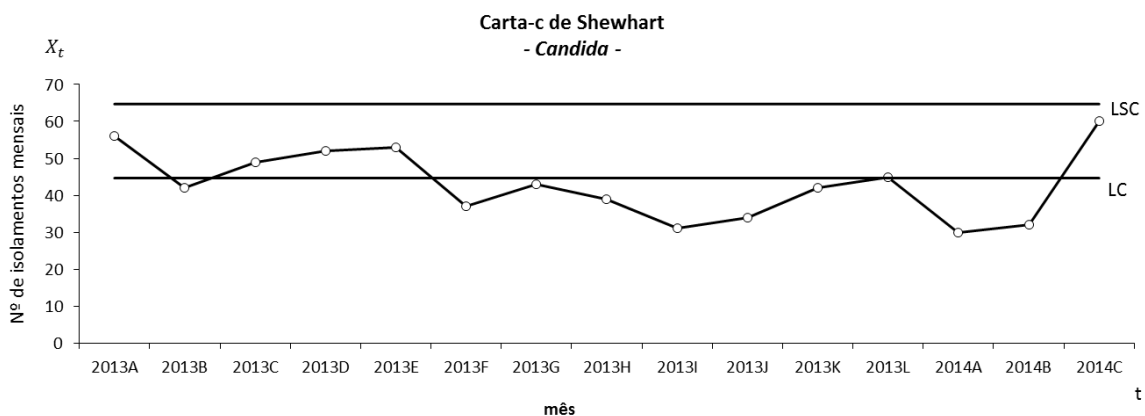


Figura 5.7 Carta-c de Shewhart para a taxa média mensal de microrganismos do género *Candida*

Conforme se pode observar na Figura 5.7, a carta-c de Shewhart não detetou alterações no processo, podendo-se concluir que entre janeiro de 2013 e março de 2014 o número médio de isolamentos mensais de microrganismos do género *Candida* esteve sob controlo. A mesma conclusão é corroborada pela carta CUSUM e EWMA construídas para esta variável que podem ser observadas na Figura 5.8 e Figura 5.9 respetivamente.

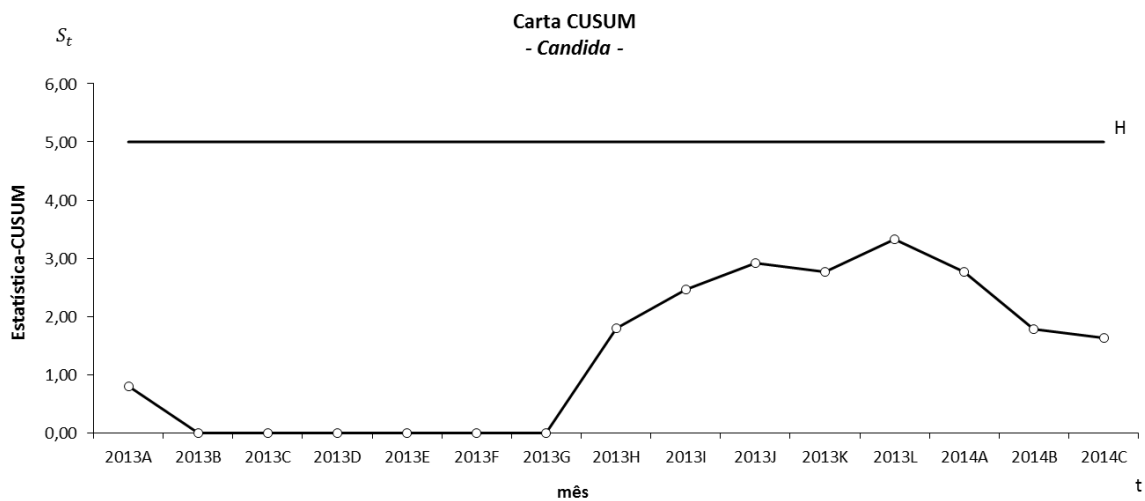


Figura 5.8 Carta CUSUM para a taxa média mensal de microrganismos do género *Candida*

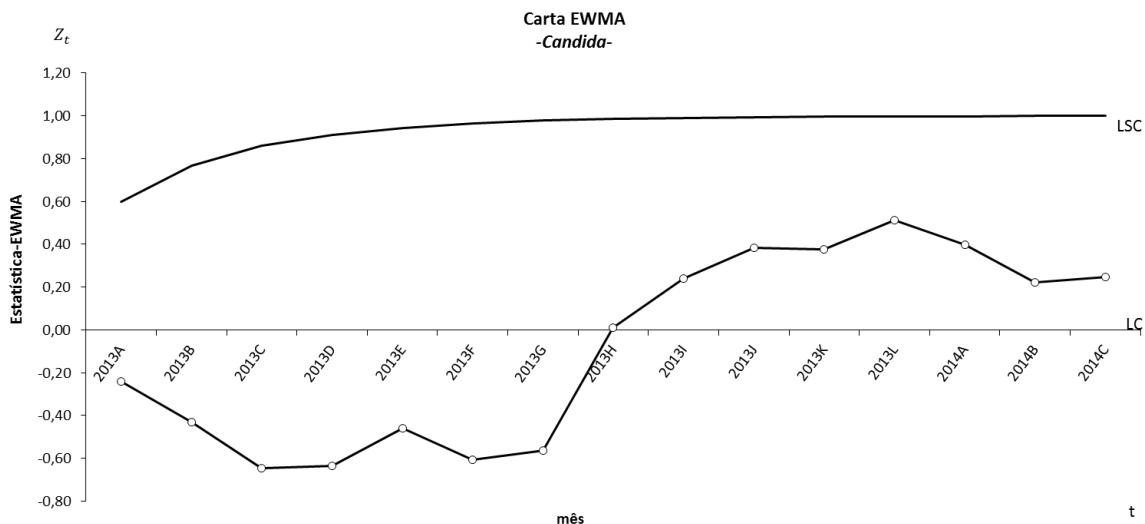


Figura 5.9 Carta EWMA para a taxa média mensal de microrganismos do género *Candida*

Apesar do objetivo principal do presente estudo ser a deteção de aumentos no número médio de isolamentos de microrganismos, a utilização de uma carta unilateral inferior para detetar diminuições poderá revelar-se muito útil na perspetiva da melhoria contínua do processo. A título ilustrativo considerem-se as cartas construídas para a monitorização da variável *Staphylococcus* cuja evolução apresentou uma tendência decrescente ao longo do tempo. Considerou-se que nos anos de 2010 e 2011 esta variável esteve estável, tendo esse período sido utilizado para a construção do limite de controlo inferior. Monitorizaram-se assim os isolamentos de *Staphylococcus* no período compreendido entre janeiro de 2012 e março de 2014.

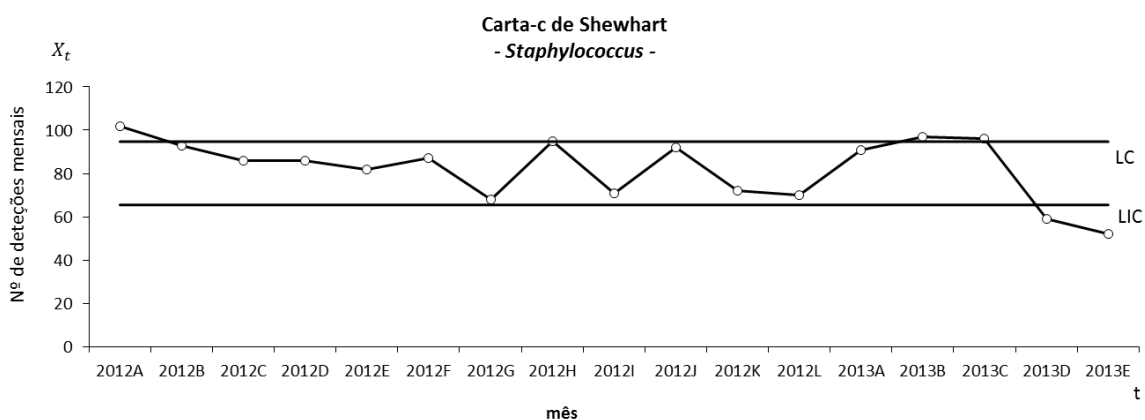


Figura 5.10 Carta-c de Shewhart para a taxa média mensal de microrganismos do género *Staphylococcus*

A carta da Figura 5.10 permite detetar uma alteração no processo através da emissão de um alarme em abril de 2013. Neste mês o número de isolamentos de *Staphylococcus* esteve abaixo do valor estabelecido pelo limite inferior de controlo, tendo-se mantido fora de controlo também em maio. Tal comportamento pode traduzir o resultado de uma alteração no processo como a utilização de novas práticas hospitalares que possam ter provocado uma diminuição no número de isolamentos de *Staphylococcus*. De notar que mais uma vez o limite de controlo foi estabelecido a uma distância de 3-sigma da linha central.

A carta CUSUM e EWMA das Figuras 5.11 e 5.12, respetivamente, corroboram mais uma vez a conclusão obtida pela carta-c de Shewhart, apesar de ambas terem emitido um sinal bastante antes da carta-c de Shewhart.

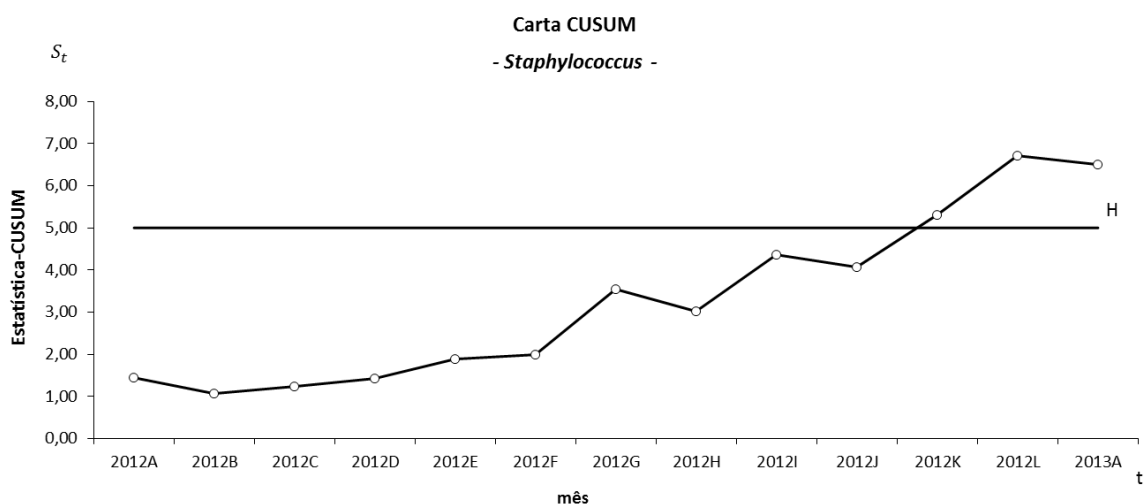


Figura 5.11 Carta CUSUM para a taxa média mensal de microrganismos do género *Staphylococcus*

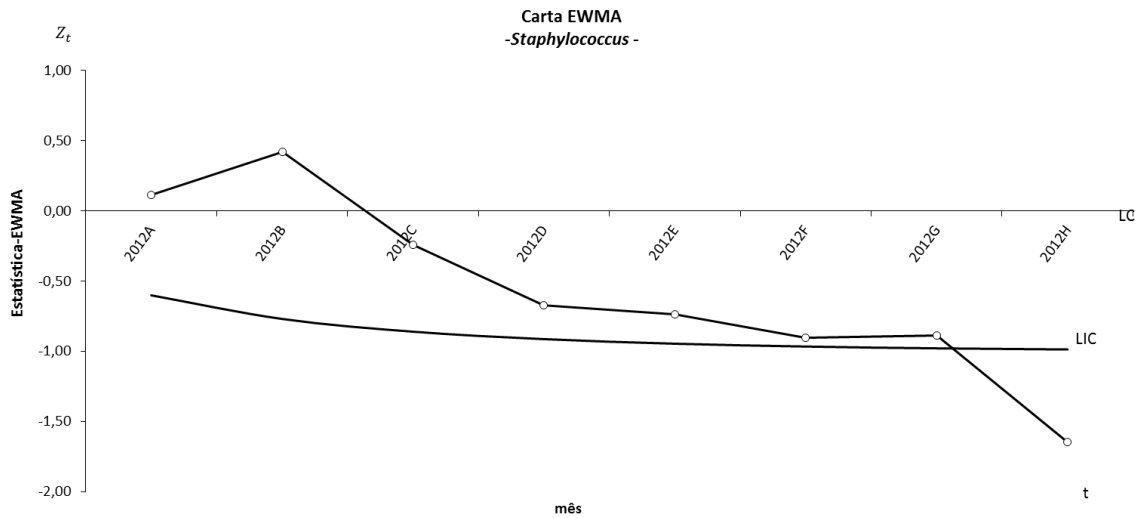


Figura 5.12 Carta EWMA para a taxa média mensal de microrganismos do género *Staphylococcus*

Neste caso, a carta CUSUM emitiu um sinal em novembro de 2012 enquanto a carta EWMA emitiu um sinal em agosto do mesmo ano. Conforme é possível observar, as cartas de controlo atuaram neste sentido como uma confirmação da existência de uma taxa média mensal de isolamentos estável – caso da variável *Candida* – ou mesmo de uma melhoria no processo – caso da variável *Staphylococcus*.

Conforme foi referido no Capítulo 3, a monitorização da espécie *Staphylococcus aureus* assume grande importância uma vez que se tem verificado ao longo do tempo o aparecimento de estirpes desta espécie resistentes à meticilina, que são alvo de grande atenção por parte dos profissionais de saúde, existindo grande interesse no desenvolvimento de ferramentas para a monitorização para a proporção de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina na totalidade de isolamentos de *Staphylococcus aureus* isolados.

Sendo assim, construiu-se uma carta-p de Shewhart com limite superior de controlo 3-sigma para a monitorização da variável  $p$  – “Proporção de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina na totalidade de isolamentos de *Staphylococcus aureus* isolados”

Para a construção do limite de controlo consideraram-se os dados referentes ao período entre janeiro e outubro de 2010, considerando este um período de estabilização da proporção de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina, valor que se situou em 55,9%.

O período decorrente entre novembro de 2010 e setembro de 2011 foi utilizado na Fase II de monitorização.

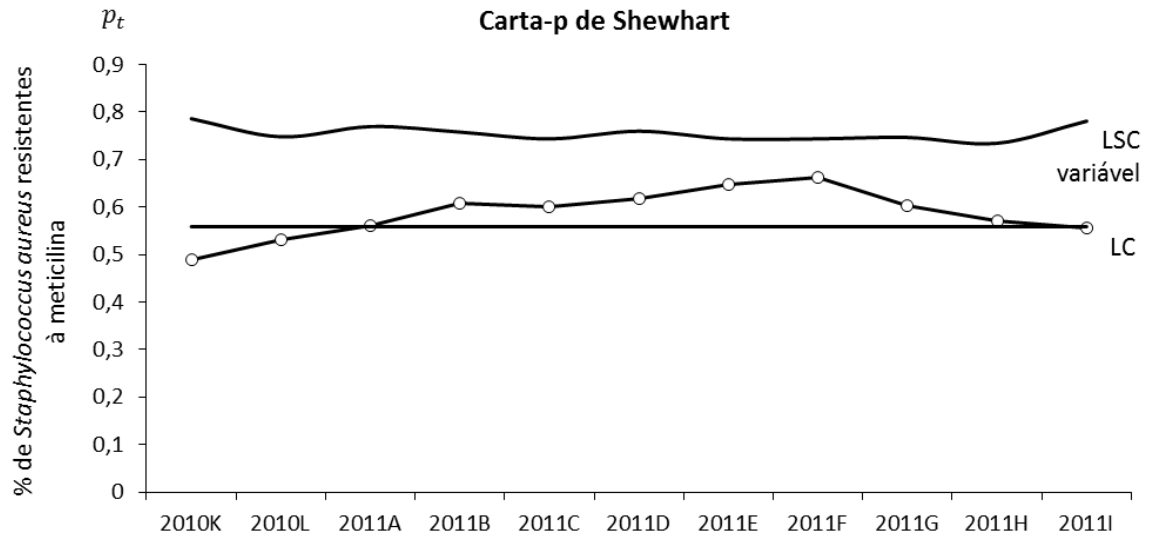


Figura 5.13 Carta-p de Shewhart para a proporção média mensal de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina

Conforme se pode verificar pela Figura 5.13, no período de monitorização não foi emitido nenhum alarme, significando que a proporção de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina na totalidade de *Staphylococcus aureus* isolados esteve sob controlo.

### 5.3 Cartas CUSUM para contagens de Poisson

Reconhecendo que as cartas de controlo se aplicavam mais frequentemente a variáveis contínuas, Lucas (1985) desenvolveu um trabalho sobre a sua aplicação a contagens, apresentando a formulação destas ferramentas para dados discretos. No caso de eventos raros, a utilização da carta CUSUM Gaussiana não é adequada. No que diz respeito à monitorização de proporções, deverá ser utilizada a carta CUSUM para a monitorização de procedimentos com distribuição Bernoulli. Tal como já foi referido, a distribuição da variável em causa tem importantes implicações no desenvolvimento da carta correta a aplicar e na avaliação da sua *performance*.

A maioria das cartas CUSUM utilizadas em estudos elaborados na área da saúde diz respeito à CUSUM para dados provenientes de contagens que seguem distribuição de Poisson (Woodall, 2006). Ao longo deste Capítulo, estas serão referidas como cartas Poisson CUSUM.

White *et al.* (1997) apresentaram um artigo onde as cartas-c de Shewhart foram comparadas com as cartas Poisson CUSUM, utilizando a medida de *performance* ARL. Através do seu estudo, demonstraram que as cartas CUSUM são uma alternativa mais eficiente à utilização das tradicionais cartas-c de Shewhart. Em quase todas as alterações na média testadas, a carta Poisson CUSUM detetou mais rapidamente as alterações do que a carta-c de Shewhart, mantendo ainda na maior parte dos casos, valores de ARL sob controlo superiores. Foi demonstrado que, para além de providenciar maior rapidez na deteção de uma situação de fora de controlo, uma carta-c de Shewhart equivalente garante também valores de *Run Length* menores quando o processo está sob controlo.

Para além de melhores propriedades de ARL face às cartas-c de Shewhart, White *et al.* (1997) apresentaram ainda uma lista de outras vantagens na utilização de cartas Poisson CUSUM as quais se enunciam de seguida:

- São de fácil computação, programação e apresentação gráfica.
- Quando a apresentação gráfica é utilizada, o operador consegue visualizar tendências no sentido do estado de fora de controlo de uma forma bastante fácil.
- O procedimento CUSUM foi demonstrado como sendo robusto no sentido em que cumpre os seus objetivos mesmo quando os dados não representam um processo de Poisson, isto é, é menos sensível a desvios em relação à distribuição assumida para descrever os dados do processo.
- A carta Poisson CUSUM pode ser parametrizada para detetar aumentos ou diminuições específicas na média do processo, o que não acontece na carta-c de Shewhart.
- Uma vez que a carta-c de Shewhart pode ser considerada um caso especial de uma carta CUSUM em que  $H = 0$  e  $K = c + 3\sqrt{c}$ , está parametrizada para

detetar alterações grandes no processo. Já a carta Poisson CUSUM é muito melhor para detetar alterações de menor dimensão.

Por se tratar de um estudo reconhecidamente importante na literatura sobre cartas de controlo CUSUM, nomeadamente na monitorização de processos Poisson, neste Capítulo será apresentado o trabalho de Lucas (1985) sobre cartas Poisson CUSUM para contagens.

A exposição do trabalho de Lucas (1985) será acompanhada de um caso de estudo. Segundo as supervisoras do núcleo executivo da Comissão de Controlo de Infeção, tem-se verificado nos períodos mais recentes um valor crescente de isolamentos de microrganismos do género *Klebsiella*, um agente causador de infeções hospitalares bastante resistente e que sobrevive em condições adversas. Por ser alvo de atual atenção por parte da Comissão de Controlo de Infeção e pela sua importância e representatividade, optou-se por incidir o estudo sobre o número de isolamentos deste microrganismo. Relembre-se que no Capítulo 4 foi confirmada uma diferença significativa do número médio de isolamentos de microrganismos do género *Klebsiella* nos anos de 2010 e 2011 face aos anos que se seguiram a 2011.

As cartas de controlo podem ser aplicadas não só à monitorização da taxa média de microrganismos na globalidade do centro hospitalar, mas também apenas em determinados serviços hospitalares. De facto, considera-se de interesse desenvolver cartas para monitorizar não só o número de isolamentos de microrganismos no hospital, como também em determinados serviços ou em qualquer par de microrganismos e serviços chave. Mais uma vez se reitera o elevado nível de envolvimento que os profissionais de saúde, nomeadamente responsáveis pelo controlo de infeções hospitalares, devem ter com o analista na fase inicial de construção das cartas. Desta forma, as decisões das variáveis a monitorizar e a parametrização das cartas devem ter em consideração as análises que são relevantes para os médicos e outros profissionais de saúde.

Conforme foi possível observar no Capítulo 3, o serviço S12 é um dos serviços com um maior número de isolamentos de microrganismos. Por outro lado, tal como referido no Capítulo 4, a partir de dezembro de 2012, este serviço tem visto o número de isolamentos

aumentar. O caso de estudo em seguida apresentado irá assim incidir sobre a monitorização do número de isolamentos de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço hospitalar S12 a partir de dezembro de 2012.

Os dados serão agregados segundo um horizonte temporal menor face ao caso de estudo já apresentado da evolução de microrganismos do género *Proteus*. Como período de agregação irá agora ser considerada a semana. Uma vez que o número de isolamentos de microrganismos em cada semana é menor que o número de isolamentos mensais, sendo portanto considerados eventos mais raros, é expectável que o comportamento da taxa média semanal de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 se aproxime ao de uma distribuição de Poisson, que modeliza bem a contagem do número de isolamentos por semana. Através de um teste de ajustamento do qui-quadrado, confirmou-se que, de facto, a taxa média semanal de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 segue uma distribuição de Poisson de parâmetro  $\lambda = 0,7451$ , a um nível de significância de 5%.

A Tabela 5.3 diz respeito aos cálculos que foram levados a cabo para a realização do teste de ajustamento, sendo os passos do teste apresentados em seguida.

Seja

X – “número de isolamentos semanais de *Klebsiella* no serviço S12”

e

$x_j$  – valores possíveis da variável aleatória X

As hipóteses em confronto no teste a efetuar são:

$H_0$ : X segue distribuição de Poisson de parâmetro  $\lambda = 0,7451$  (estimado)

$H_1$ : X não segue distribuição de Poisson de parâmetro  $\lambda = 0,7451$

A partir dos dados amostrais construiu-se a seguinte tabela:

Teste do Qui-Quadrado					
$x_j$	$n_j$	$p_j^0$	$e_j = p_j^0 * n$	$e_j (> 5)$	$\frac{(n_j - e_j)^2}{e_j}$
0	100	0,4747	96,8363	96,8363	0,1034
1	71	0,3537	72,1525	72,1525	0,0184
2	21	0,1318	26,8804	26,8804	1,2864
3	9	0,0327	6,6762	8,1308	1,8412
$\geq 4$	3	0,0071	1,4546		
	204	1	204	204	3,2494

Tabela 5.3 Dados amostrais para o teste de ajustamento do Qui-Quadrado da variável *Klebsiella* à distribuição de Poisson

De notar que de modo a respeitar a condição  $e_j \geq 5, \forall j$ , os valores da variável maiores ou iguais a três foram agregados.

Sob  $H_0$  verdadeiro, a estatística de teste é dada por:

$$ET = \sum_{j=1}^k \frac{(N_j - e_j)^2}{e_j} \sim \chi_{(k-r-1)}^2$$

onde  $r$  é o número de parâmetros que são necessários estimar para ajustar a função de distribuição  $F_0$  e  $k$  o número de classes a ser consideradas. Neste caso  $r = 1$  e  $k = 4$ , sendo que,

$$\text{Sob } H_0, \quad ET \sim \chi_2^2$$

Dos cálculos resultou assim que:

$$ET_{\text{obs}} = 3,25$$

Considerando um nível de significância  $\alpha = 5\%$ , o valor crítico  $c$  é assim obtido através da condição  $\alpha = P(ET > c | H_0)$ , sendo:

$$c = 5,99 \quad \text{e} \quad RC = ]5,99; +\infty[.$$

Como  $ET_{obs} \notin RC$  então  $H_0$  não é rejeitada para um nível de significância de 5%, concluindo-se que existe evidência estatística suficiente para afirmar que o número de isolamentos semanais de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 segue uma distribuição de Poisson de parâmetro  $\lambda = 0,7451$ .

Uma distribuição de Poisson deverá ser usada para modelar o número de ocorrências observadas por intervalo de amostragem. Uma carta Poisson CUSUM será então usada quando se procede ao registo do número de ocorrências por intervalo temporal, como por exemplo, o número de isolamentos semanais de microrganismos.

Quando o número de ocorrências por intervalo de tempo segue uma distribuição de Poisson, o tempo entre as ocorrências consecutivas segue uma distribuição exponencial. Uma carta CUSUM para a monitorização de procedimentos com distribuição Exponencial deverá ser utilizada se é conveniente proceder a uma atualização da carta a cada nova contagem, e quando o tempo que decorreu desde a última ocorrência é conhecido. Este esquema passará a ser referido como carta Exponencial CUSUM. Existe uma estreita relação entre a monitorização do número de ocorrências por intervalo de tempo e a monitorização do tempo entre as ocorrências consecutivas, a qual tem implicações importantes na construção das cartas e na sua *performance*.

Uma carta CUSUM robusta, proposta por Lucas e Crosier (1982b), irá detetar rapidamente mudanças efetivas no processo. No entanto, será ao mesmo tempo insensível à ocorrência de *outliers* ocasionais. Para uma carta Poisson CUSUM com a finalidade de detetar um aumento no número de contagens, a estatística de controlo é dada por (5.9).

$$S_t = \max(0, X_t - K + S_{t-1}). \quad (5.9)$$

Lucas (1985) recomenda a utilização de um valor inicial aproximadamente igual a  $H/2$ . Relembre-se que com a utilização deste *head-start*, a carta emite um alarme mais rapidamente caso o processo esteja fora de controlo no início da monitorização. Se o processo estiver sob controlo estatístico, a utilização deste valor inicial tem um efeito pequeno uma vez que este tende rapidamente para zero.

Lucas e Crosier (1982b) referem a possibilidade de utilizar cartas CUSUM robustas impondo para o efeito um limite de controlo adicional de deteção de *outliers*. Uma carta CUSUM robusta é assim obtida utilizando a regra de “dois pontos consecutivos”, ou seja, uma observação que exceda o limite de deteção de *outliers* não significa que o processo esteja fora de controlo, mas duas observações consecutivas já traduzem que o processo está de facto fora de controlo. As cartas CUSUM são normalmente avaliadas utilizando o valor de ARL. Relembre-se que esta medida traduz o número médio de amostras ou observações até ser emitido um sinal e significa *Average Run Length*. O ARL deve ser elevado quando o processo está sob controlo estatístico e reduzido quando está fora de controlo.

De seguida será explicado o procedimento para o *design* de cartas Poisson CUSUM e Exponencial CUSUM para detetar aumentos ou diminuições na taxa de contagens. Esquemas bilaterais para detetar tanto aumentos como diminuições são obtidos implementando simultaneamente dois esquemas unilaterais. Tal como já foi referido, considera-se preferível utilizar cartas apenas para detetar alterações num sentido. No caso de estudo será utilizada uma carta unilateral superior para que a deteção de aumentos no número de microrganismos (objetivo principal do estudo) não seja penalizada. Poderia, no entanto, ser considerado um esquema de controlo bilateral constituído por duas cartas unilaterais (superior e inferior) que emitiria sinal de fora de controlo quando uma das cartas excedesse o intervalo de decisão  $H$  correspondente. No entanto, este procedimento não foi considerado no âmbito deste estudo.

O procedimento para o *design* destas cartas passa por definir como escolher o valor de referência  $K$  e o intervalo de decisão  $H$ . O parâmetro  $K$  é determinado através do valor aceitável e do valor a partir do qual se pretende que a carta emita sinal. Após o cálculo de  $K$ , utilizam-se tabelas para escolher o valor de  $H$ . Este é num primeiro momento determinado por um valor de ARL sob controlo desejável, ou seja, de forma equivalente, pela frequência aceitável de falsos alarmes. Lucas (1985) aconselha a que a carta seja construída de forma a salvaguardar uma situação inicial em que o processo esteja fora de controlo. Assim sendo, recomenda a utilização das tabelas de ARL para a construção de cartas CUSUM que utilizem o método FIR – *Fast initial response*.

Para uma carta Poisson CUSUM, o valor de referência  $K$  irá ser escolhido entre o valor médio aceitável para o processo  $\mu_a$ , e o valor médio de contagens que se pretende que a carta detete  $\mu_d$ . Estes valores são calculados através do número médio de contagens por amostra considerada.

O valor de  $\mu_a$  pode ser estimado recorrendo a dados históricos, através do estudo do que será um valor usual inerente ao processo em si, ou então definido de uma forma empírica como o valor desejável. Conforme foi referido no Capítulo 4, no período compreendido entre janeiro e novembro de 2012 o número de isolamentos de microrganismos do género *Klebsiella* aparentou não só estar sob controlo, assumindo valores reduzidos, como também a variabilidade dos valores em torno do seu valor médio foi reduzida. Assim sendo, para o caso de estudo, considerou-se como valor desejável  $\mu_a$  o número médio de isolamentos semanais de *Klebsiella* no serviço S12 detetados entre janeiro e novembro de 2012, ou seja,  $\mu_a = 0,59$ .

Na Figura 5.14 encontra-se a evolução semanal dos isolamentos de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12. Note-se que na segunda semana de novembro de 2013 este valor ascendeu a quatro isolamentos de *Klebsiella* no serviço, o maior valor verificado no período apresentado.

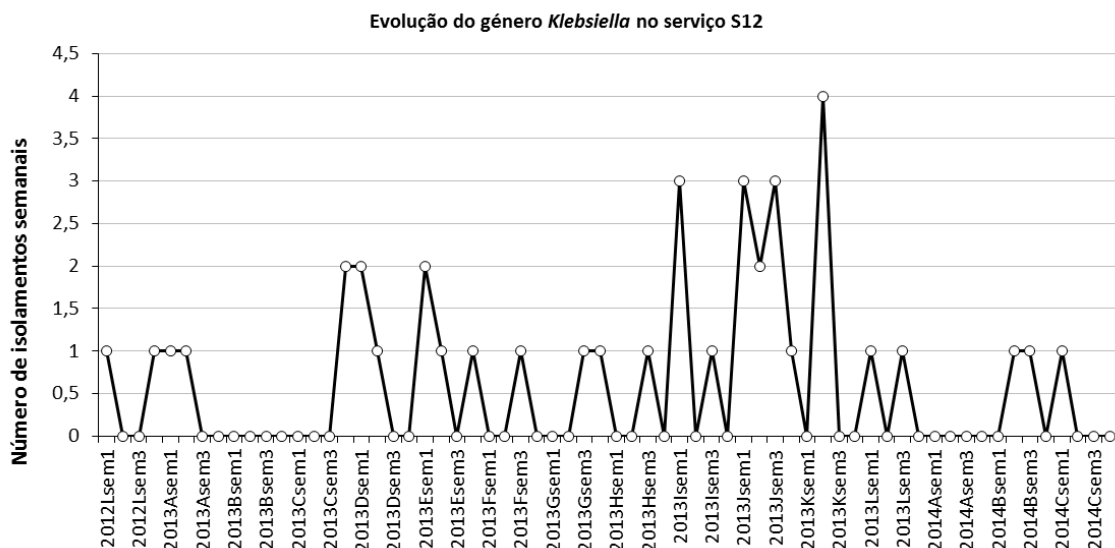


Figura 5.14 Evolução semanal do género *Klebsiella* no serviço S12

Apesar da prática mais usual ser estabelecer limites de controlo 3-sigma, na área da saúde considera-se que o controlo deve ser mais apertado uma vez que as consequências do processo sair fora de controlo podem acarretar perigos para a saúde dos doentes. Por outro lado, lembre-se que no estudo sobre a taxa média mensal de microrganismos do género *Proteus*, a carta-c de Shewhart com limites de controlo 2-sigma, permitiu detetar a situação de fora de controlo evidenciada tanto pela carta CUSUM como pela carta EWMA construídas, não tendo a tradicional carta-c de Shewhart com limites de controlo 3-sigma emitido qualquer alarme.

Decidiu-se assim construir a carta de forma a detetar alterações de uma dimensão correspondente a duas vezes o desvio padrão do processo. Este foi calculado através do desvio padrão estimado do número de isolamentos semanais de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 entre janeiro e novembro de 2012, tendo o resultado obtido sido  $S = 0,62$ . Assim sendo, o valor a partir do qual a carta construída deve emitir sinal é  $\mu_d = 1,83$ .

O valor de referência para a carta Poisson CUSUM ( $K_p$ ) é calculado através de (5.10),

$$K_p = \frac{\mu_d - \mu_a}{\ln(\mu_d) - \ln(\mu_a)}. \quad (5.10)$$

Quando  $K_p \geq 1$  o valor é usualmente arredondado para o valor inteiro mais próximo.

Para o caso de estudo obtém-se assim o valor de referência que se encontra em (5.11),

$$K_p = \frac{1,83492 - 0,59091}{\ln(1,83492) - \ln(0,59091)} = 1,09789 \cong 1. \quad (5.11)$$

O valor de referência para o caso da carta Exponencial CUSUM ( $K_b$ ) é dado pela expressão apresentada em (5.12),

$$K_b = \frac{\ln(\mu_d) - \ln(\mu_a)}{\mu_d - \mu_a}. \quad (5.12)$$

Se a escala temporal para uma carta Exponencial CUSUM é a mesma que a escala temporal para uma carta Poisson CUSUM, o valor de referência  $K_b$  para a carta Exponencial CUSUM é o recíproco do valor  $K_p$  para a carta Poisson CUSUM, conforme se pode observar em (5.13),

$$K_b = \frac{\ln(1,83492) - \ln(0,59091)}{1,83492 - 0,59091} = 0,910839 \cong 1. \quad (5.13)$$

Após o cálculo do valor de referência  $K$ , o intervalo de decisão  $H$  é calculado com o recurso a tabelas. Este valor deverá ser escolhido de forma a garantir um valor de ARL elevado quando o número de ocorrências está a um nível desejado e um valor de ARL reduzido caso o processo tenha sofrido uma alteração que exceda o nível que se pretende detetar rapidamente.

A aplicação mais usual de uma carta Poisson CUSUM é a deteção de um aumento do número médio de ocorrências, sendo a que será utilizada neste caso de estudo.

As tabelas apresentadas em Lucas (1985) apresentam valores de ARL para diversas combinações de  $K$ ,  $H$  e diferentes amplitudes na alteração a detetar pela carta, traduzidas em múltiplos do valor  $K$ . Nesse trabalho são ainda apresentadas tabelas distintas que contemplam a utilização, ou não, do método FIR. No caso em estudo, uma vez que o método FIR irá ser utilizado, os valores de ARL a ser considerados contemplam a sua implementação.

Os valores tabelados para o valor médio traduzem o múltiplo de  $K$  que permite obter tanto o valor desejado como o valor a partir do qual se pretende que a carta detete uma alteração, correspondendo a primeira ao ARL quando o processo está sob controlo, e a segunda ao ARL quando o processo está fora de controlo (ver Tabela 5.4).

Decidiu-se considerar  $H = 3$ . Desta forma, foi obtido um valor de ARL de 149 quando o processo está sob controlo e de 2,4 quando está fora de controlo. Na Figura 5.15 encontra-se representada a carta Poisson CUSUM para a monitorização do número médio de isolamentos semanais de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 que possui estas características.

Na área da saúde é usual a utilização de valores de ARL mais pequenos do que na indústria, por exemplo. De facto, sublinha-se que, nesta área, uma situação de fora de controlo pode eventualmente acarretar significativas consequências para a segurança e saúde do doente. Assim sendo, um valor de ARL de 149 é considerado normal, neste caso.

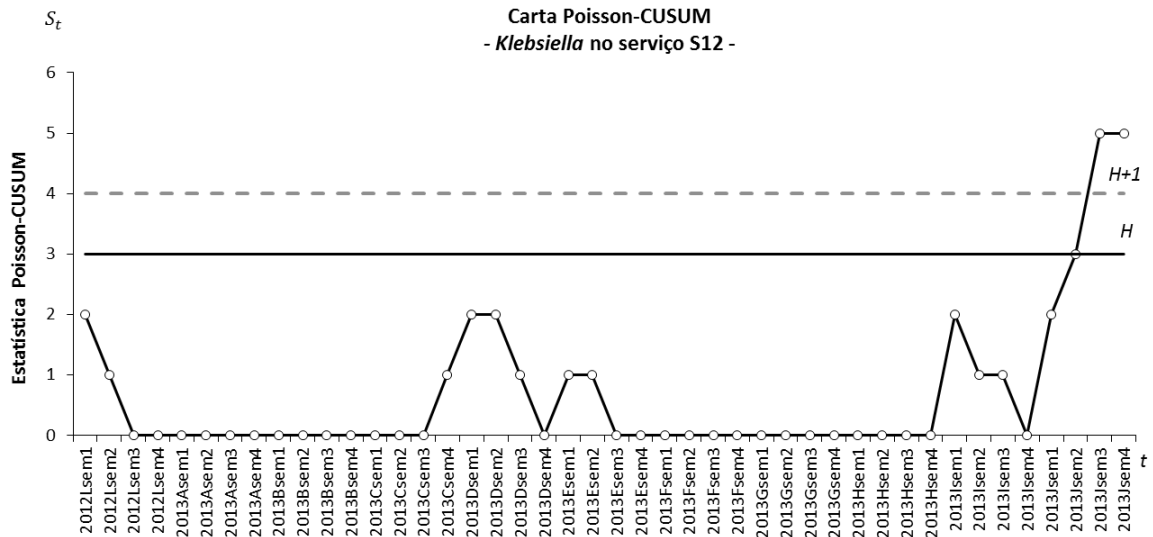


Figura 5.15 Carta Poisson CUSM para a taxa média semanal de isolamentos do género *Klebsiella* no serviço S12 ( $K = 1$ ;  $H = 3$ ;  $ARL_0 = 149$ )

Conforme se pode observar pela carta, esta emitiu um sinal na terceira semana de outubro de 2013. Tal como sugerido por Lucas e Crosier (1982b), optou-se por construir uma carta CUSUM robusta com um limite de deteção de *outliers*. Repare-se que se este limite for estabelecido em  $H+1$ , na quarta semana de outubro de 2013 a carta emite novamente um sinal. Conclui-se assim que a taxa média de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 saiu fora de controlo. Desta forma, a Comissão de Controlo de Infecção teria recebido um alerta, direcionando a sua atenção para o comportamento deste microrganismo neste serviço, podendo dessa forma identificar rapidamente a existência de um potencial problema e proceder a uma investigação ou tomada de ação. Em última instância, levanta-se a dúvida de que um alerta na quarta semana de outubro de 2013 decorrente da implementação de uma carta Poisson CUSUM robusta poderia ter evitado o elevado valor que se verificou na segunda semana de novembro desse ano conforme foi anteriormente evidenciado.

$H$	$K$	$S_0$	Média do processo como múltiplo de $K$						
			0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7
2,0	1,0	1,0	41,3	24,3	11,1	6,36	4,25	3,15	2,29
3,0	1,0	2,0	149	66,9	20,4	9,06	5,19	3,52	2,4
5,0	1,0	3,0	2140	562	78,9	22,2	10	6,02	3,74
7,0	1,0	4,0	27500	4050	240	41,5	15,3	8,61	5,16
10,0	1,0	5,0	*	72200	1080	87,5	25,6	13,7	8,02
15,0	1,0	8,0	*	*	10100	179	36,6	18,7	10,9
20,0	1,0	10,0	*	*	89900	324	51,8	26,2	15,2

Tabela 5.4 Valores de ARL para a carta Poisson CUSUM (aumentos na taxa de ocorrências, com FIR). Fonte: Lucas (1985)

## 5.4 Carta EWMA para contagens Poisson

Tal como no caso da carta CUSUM, a carta EWMA também pode ser aplicada a dados com distribuição de Poisson. Borrer *et al.* (1998) apresentaram a formulação da carta EWMA para procedimentos com distribuição de Poisson, tendo concluído que uma das vantagens deste esquema – de agora em diante designado por Poisson EWMA – é o facto dos valores de ARL obtidos serem geralmente inferiores aos valores de ARL de uma carta-c de Shewhart.

Construiu-se assim para o caso de estudo, uma carta Poisson EWMA para monitorizar o número médio de isolamentos semanais de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12. Mais uma vez foi utilizado o período que decorreu entre janeiro e novembro de 2012 para cálculo dos limites de controlo. A carta Poisson EWMA que se apresenta na Figura 5.16 foi construída com os valores de parametrização da Tabela 5.5.

Parâmetros da carta		
L	múltiplo de $\sigma_z$ utilizado para o cálculo dos limites de controlo	3
$\lambda$	ponderação	0,2

Tabela 5.5 Parâmetros da carta Poisson EWMA da Figura 5.16

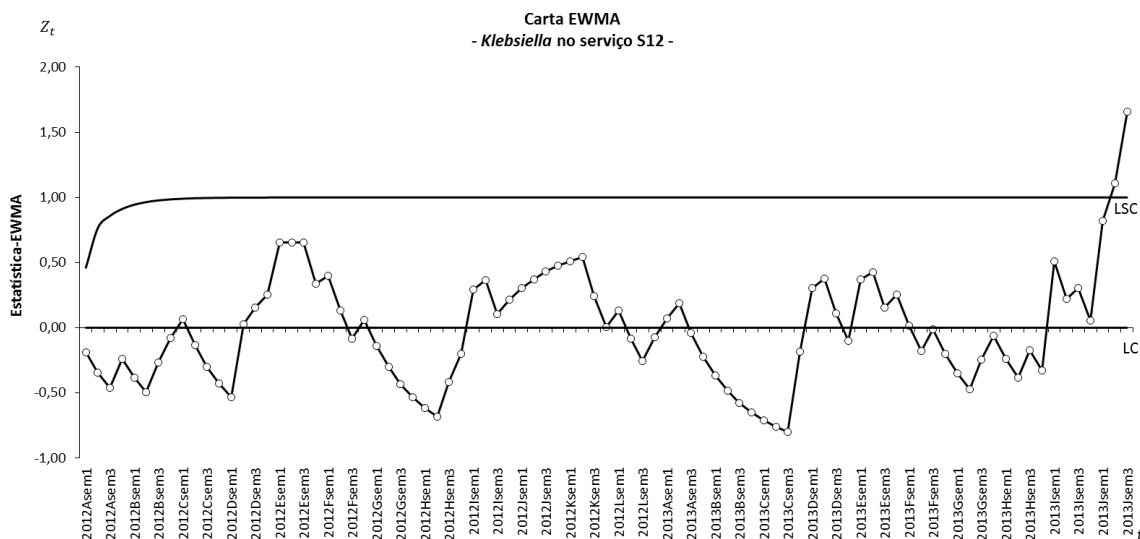


Figura 5.16 Carta Poisson EWMA para a taxa média semanal de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 ( $L=3$ ).

É possível observar que a carta emitiu um alarme na segunda semana de outubro de 2013. Relembre-se que a carta Poisson CUSUM anteriormente construída emitia um alarme apenas na terceira semana de outubro de 2013. Com a utilização de uma carta Poisson CUSUM robusta, ou seja, aplicando a regra de “dois pontos consecutivos” fora de controlo, apenas na quarta semana seria concluído que o processo está realmente fora de controlo. De notar que não é apropriado procurar padrões não aleatórios numa carta EWMA uma vez que a estatística de controlo é autocorrelacionada (Borrór *et al.*, 1998).

Tal como já foi referido, apesar de ser usual estabelecer  $L = 3$  para uma fácil comparação com as tradicionais cartas de Shewhart com limites de controlo 3-sigma, na área da saúde considera-se que o controlo deve ser mais apertado. Assim sendo, e de forma a manter consistência com a carta Poisson CUSUM semanal apresentada neste caso de

estudo, construiu-se uma carta Poisson EWMA com  $L = 2$ . Esta encontra-se representada na Figura 5.17 e os seus valores de parametrização estão na Tabela 5.6.

Parâmetros da carta		
<b>L</b>	múltiplo de $\sigma_z$ utilizado para o cálculo dos limites de controlo	2
<b><math>\lambda</math></b>	ponderação	0,2

Tabela 5.6 Parâmetros da carta Poisson EWMA da Figura 5.17

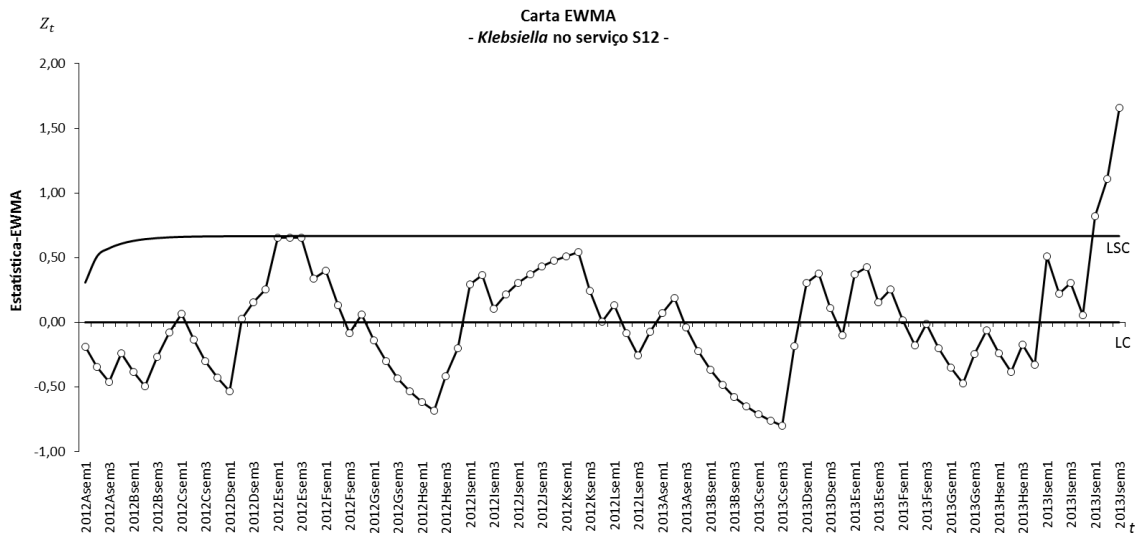


Figura 5.17 Carta Poisson EWMA para a taxa média semanal de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 ( $L=2$ ).

Note-se que a carta emitiu um alarme na primeira semana de outubro de 2013, ou seja, uma semana antes da carta Poisson EWMA construída com  $L = 3$ .

Verificamos que neste caso de estudo, a utilização da carta Poisson EWMA com  $L = 2$  detetou mais rapidamente a situação de fora de controlo que se verificou em outubro de 2013 do que a carta Poisson EWMA com  $L = 3$ , sem por isso ter emitido falsos alarmes antes. Por sua vez, ambas as cartas emitem sinal mais rapidamente que a carta Poisson CUSUM construída.

Para além de monitorizar o número de ocorrências por período de tempo, pode ser vantajoso atentar ao tempo que decorre entre as ocorrências.

## 5.5 Carta CUSUM para o tempo entre eventos

A utilização mais habitual de uma carta CUSUM para o tempo entre eventos – carta Exponencial CUSUM – é a deteção de uma diminuição no tempo entre contagens. Caso o tempo decorrente entre isolamentos sucessivos de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 seja muito reduzido, tal pode significar que a evolução deste microrganismo no serviço pode estar fora de controlo. De notar que enquanto a utilização de uma carta Poisson CUSUM para a monitorização do número de isolamentos obriga a que se aguarde até ao final do período de agregação para representar o valor na carta, e consequentemente, averiguar se o intervalo de decisão  $H$  é ou não excedido, a carta Exponencial CUSUM permite que uma situação de fora de controlo seja detetada mais rapidamente pois antes do final de um período de agregação, o tempo entre eventos pode ser menor que um determinado limite estabelecido, sendo imediatamente emitido um sinal quando tal acontece.

A monitorização do processo através da carta Exponencial CUSUM irá permitir um controlo mais constante, significando neste caso que a Comissão de Controlo de Infeção se poderá eventualmente munir de uma ferramenta para monitorizar a evolução do número de isolamentos de microrganismos em tempo real.

Para a construção de uma carta Exponencial CUSUM, o intervalo de decisão  $H$  é obtido através de uma tabela de valores de ARL que utiliza um valor de referência  $K_t$  dado por (5.14).

$$K_t = K_b \cdot \mu_a , \quad (5.14)$$

Relembre-se que  $K_b$  representa o valor de referência para a carta Exponencial CUSUM e  $\mu_a$  a taxa de contagens média aceitável para o processo.

Alternativamente, este valor pode ainda ser calculado através da expressão (5.15) onde  $\mu_d$  representa o valor a partir do qual a carta construída deve emitir sinal,

$$K_t = \frac{\ln\left(\frac{\mu_d}{\mu_a}\right)}{\frac{\mu_d}{\mu_a} - 1} . \quad (5.15)$$

Para a construção da carta Poisson CUSUM anteriormente apresentada, os dados foram agregados semanalmente. Existindo informação sobre a data e a hora de cada isolamento que testou positivo para a presença do microrganismo *Klebsiella* no serviço S12, o tempo que decorreu entre cada deteção consecutiva está expresso em dias. Assim sendo, de notar que tanto o valor desejado  $\mu_a$  como o valor a partir do qual se pretende que a carta emita um sinal  $\mu_d$  terão de ser recalculados de forma a serem expressos em valores médios diários. Considerando de igual forma que entre janeiro e novembro de 2012 o número de isolamentos de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 esteve sob controlo, obtém-se  $\mu_a = 0,0836$  e  $\mu_d = 0,6371$ . De notar que se continua a pretender detetar alterações que excedam o dobro do desvio padrão.

Assim sendo, para o caso de estudo, os valores de  $K_b$  e  $K_t$  foram obtidos, respetivamente, através de (5.16) e (5.17), onde

$$K_b = \frac{\ln(0,6371) - \ln(0,0836)}{0,6371 - 0,0836} = 3,669 \quad (5.16)$$

e

$$K_t = 3,669 * 0,0836 = 0,3067. \quad (5.17)$$

A Tabela 5.7 foi construída a partir de Lucas (1985) e apresenta os valores de referência  $K_t$  apropriados para diversas combinações dos rácios  $\mu_d/\mu_a$  tanto para o caso do objetivo ser detetar um aumento na taxa de ocorrências, como uma diminuição.

Aumento da taxa de ocorrências		Diminuição da taxa de ocorrências	
$\mu_d/\mu_a$	$K_t$	$\mu_d/\mu_a$	$K_t$
1,25	0,84	0,80	1,12
1,50	0,81	0,60	1,28
2,00	0,69	0,40	1,53
3,00	0,55	0,30	1,72
5,00	0,40	0,20	2,01
7,00	0,34	0,10	2,56
10,00	0,26	0,50	3,15
20,00	0,16	0,20	3,99

Tabela 5.7 Determinação do parâmetro  $K_t$  através do rácio  $\mu_d/\mu_a$ . Fonte: Lucas (1985)

Lucas (1985) apresentou tabelas com os valores de ARL para o caso de uma carta Exponencial CUSUM para detetar alterações positivas ou negativas no tempo entre ocorrências, com e sem a aplicação do método FIR.

Na carta Exponencial CUSUM, o valor de ARL refere-se ao número médio de contagens até ser emitido um sinal, enquanto para uma carta Poisson CUSUM o ARL é o número médio de dias, de semanas ou de outros períodos de agregação até ser emitido um sinal. De notar que as colunas das tabelas apresentadas por Lucas (1985) para a carta Exponencial CUSUM dizem respeito aos valores de ARL para alterações no processo expressas em múltiplos da taxa de ocorrências desejável  $\mu_a$ , e não em múltiplos do valor de referência  $K$  como acontecia para o caso da carta Poisson CUSUM para contagens.

De referir ainda que quando o rácio  $\mu_d/\mu_a$  é aproximadamente igual a 1, a carta CUSUM tem menor sensibilidade. O valor de ARL quando o processo está fora de controlo, isto é,  $ARL(\mu_d)$ , é muito menor do que  $ARL(\mu_a)$ , sendo  $ARL(\mu)$  o ARL quando a taxa de contagens é  $\mu$ .

Para implementar uma carta Exponencial CUSUM, o valor  $H_t$  é obtido das tabelas, sendo que o valor do intervalo de decisão  $H_b$  utilizado pelo esquema de controlo se obtém através da expressão  $H_b = H_t/\mu_a$ .

Na implementação de um esquema Exponencial CUSUM devem então ser utilizadas as fórmulas apresentadas em (5.18) e (5.19),

$$S_t = \max(0, X_t - K + S_{t-1}), \quad (5.18)$$

e

$$S_t = \max(0, K - X_t + S_{t-1}). \quad (5.19)$$

A primeira expressão deve ser utilizada para detetar um aumento do número de ocorrências numa carta Poisson CUSUM, ou o aumento do tempo entre eventos no caso de uma carta Exponencial CUSUM. Já a segunda expressão deve ser utilizada para detetar uma diminuição do número de ocorrências no caso de uma carta Poisson CUSUM, ou diminuição do tempo entre eventos no caso de uma carta Exponencial CUSUM. Se  $S_t \geq H$ ,

a carta emite um sinal, alertando para uma situação de fora de controlo. Dessa forma conclui-se que ocorreu uma alteração significativa no processo que se deveu a causas especiais.

No caso em estudo, fixou-se  $H_t/K_t = 2$  tendo sido obtido  $H_t = 0,6$ . Dessa forma o valor do intervalo de decisão vem  $H_b \cong 7,18$ . Através da tabela de valores de ARL apresentada por Lucas (1985) para diminuições no tempo entre eventos com implementação do método FIR, foram assim obtidos valores de ARL que ascenderam a 194 e 2,61 para o caso do processo estar sob controlo e fora de controlo, respetivamente, o que mostra a boa eficiência deste procedimento de controlo.

A Figura 5.18 representa a carta Exponencial CUSUM construída para a monitorização da taxa (média) diária de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12.

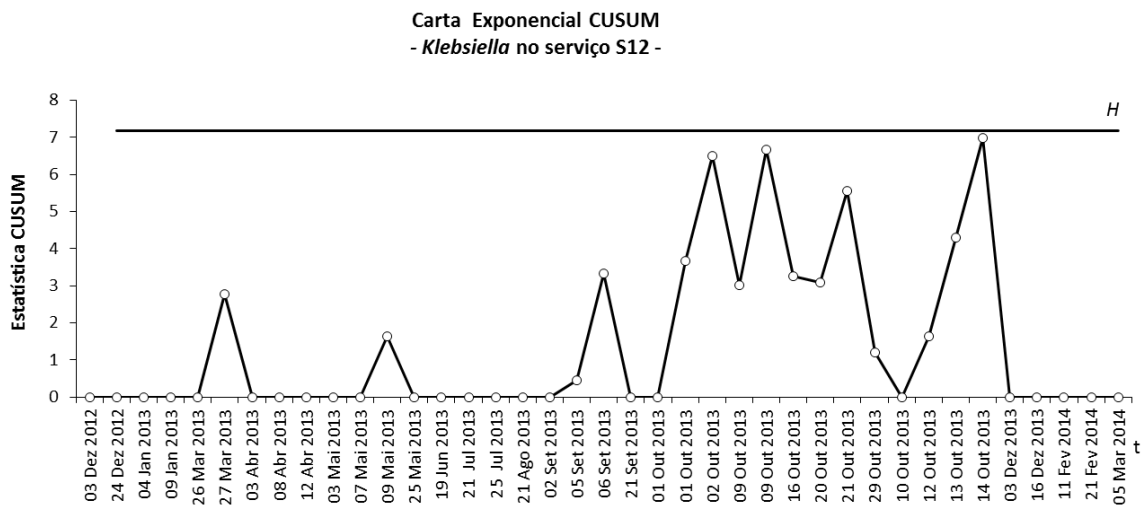


Figura 5.18 Carta Exponencial CUSUM para a taxa média diária de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12 ( $K = 3,67$ ;  $H = 7,18$ ;  $ARL_0 = 194$ ).

Repare-se que apesar de não ter sido emitido qualquer alarme durante o período em monitorização, o tipo de padrão das observações a partir de outubro de 2013 é diferente do que tinha sido verificado para a carta Poisson CUSUM construída (consultar Figura 5.14) sendo que neste caso existe uma maior probabilidade das observações ultrapassarem uma barreira superior imposta.

De notar que estas cartas não são comparáveis uma vez que os valores de ARL quando o processo está sob controlo são diferentes. Relembre-se que para a carta Poisson CUSUM

construída o  $ARL_0$  foi de 149. Assim sendo, apesar da carta CUSUM para o tempo entre eventos não ter detetado uma situação de fora de controlo em outubro como aconteceu com a carta Poisson CUSUM, possui uma taxa de falsos alarmes menor.

Caso o intervalo de decisão utilizado na carta Exponencial CUSUM fosse menor, o valor de  $ARL_0$  diminuiria sendo que a *performance* desta carta se deveria aproximar da *performance* da carta Poisson CUSUM construída. Por esse motivo e pelo facto da literatura relevante defender a utilização deste esquema de controlo em detrimento da monitorização da taxa de ocorrências, procedeu-se à experiência de reduzir o valor do intervalo de decisão para  $H_b = 6,18$  de forma a tornar a carta mais sensível a alterações. Apesar de não ser possível precisar o novo valor de ARL obtido, sabe-se que este é menor que 194 quando o processo está sob controlo.

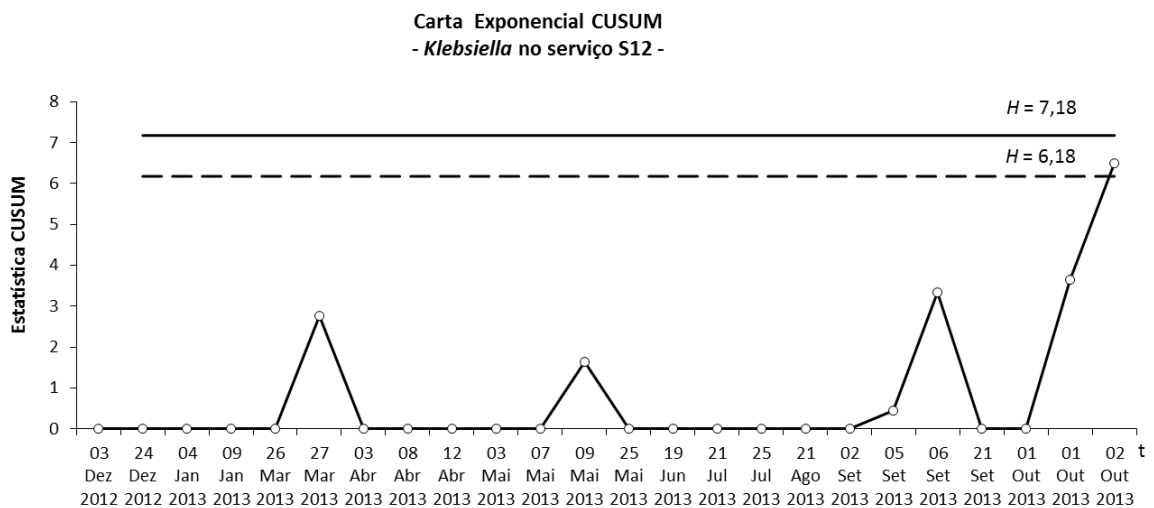


Figura 5.19 Carta Exponencial CUSUM para taxa média diária de microrganismos do género *Klebsiella* no serviço S12.  $H$  (---): ( $K = 3,67$ ;  $H = 6,18$ ;  $ARL_0 < 194$ );  $H$  (—): ( $K = 3,67$ ;  $H = 7,18$ ;  $ARL_0 = 194$ ).

É possível verificar pela Figura 5.19 que com a utilização de um intervalo de decisão menor (na figura a tracejado) a carta emite um sinal a 2 de outubro de 2013, ou seja, logo no início da primeira semana deste mês.

Taxa de ocorrências como múltiplo de $\mu_a$												
$H$	$K$	$S_0$	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00	7,50
0,6	0,3	2,0	194	98,7	57,5	36,8	25,3	14,1	9,2	5,25	3,79	2,61
0,9	0,3	3,0	1530	569	256	132	76,1	32	17,2	7,93	5,23	3,34
1,2	0,3	4,0	12200	3270	1120	459	217	67,2	29,4	11,1	6,87	4,3
1,5	0,3	5,0	97000	18600	4790	1540	591	132	46,2	14,3	8,42	5,18

Tabela 5.8 Valores de ARL para a carta CUSUM para o tempo entre eventos (aumentos na taxa de ocorrências, com FIR). Fonte: Lucas (1985)

## 5.6 Refinamentos às cartas de controlo com diferentes períodos de agregação temporal

Quando se pretende monitorizar a ocorrência de eventos de interesse é usual agregar as contagens em períodos temporais de uma determinada dimensão e proceder ao seu reporte dessa forma. Supondo o caso de contagens com distribuição de Poisson, estas são habitualmente monitorizadas através de uma carta-c de Shewhart.

A utilização de um intervalo de agregação menor traz claras vantagens permitindo que o controlo seja feito de uma forma mais *online* e permite que uma situação de fora de controlo seja detetada mais rapidamente. A utilização da agregação semanal em detrimento da agregação mensal permite, por exemplo, que quando existe um nível excessivo de isolamentos de um determinado microrganismo no serviço, não seja necessário aguardar até ao final do mês para analisar a sua evolução, criando o risco que a sua propagação aumente.

Schuh *et al.* (2013) estudaram o efeito da agregação dos dados para a monitorização de processos Poisson. Não só por ser de claro interesse teórico na construção e utilização de cartas de controlo, mas também por servir de fundamentação para as escolhas de diferentes períodos de agregação temporal a ser utilizados, este estudo será descrito em seguida.

A revisão de literatura efectuada em Schuh *et al.* (2013) permitiu salientar as seguintes observações pertinentes:

- Segundo White *et al.* (1997) as cartas-c de Shewhart são reconhecidamente menos sensíveis a alterações pequenas que decorram no processo quando comparadas com cartas CUSUM e EWMA, sendo que estas detetam mais rapidamente alterações no processo.
- Lucas (1985) sugeriu a utilização de cartas CUSUM para monitorizar a taxa mensal de acidentes industriais e Borror *et al.* (1998) recomendaram a utilização de cartas EWMA para dados Poisson. O primeiro sugeriu ainda a utilização de cartas CUSUM para dados exponenciais para monitorizar o tempo que decorre entre acidentes consecutivos, uma vez que o tempo entre eventos num processo homogéneo de Poisson segue distribuição exponencial.
- Wu *et al.* (2010) utilizaram uma carta CUSUM para dados exponenciais para monitorizar o tempo entre fatalidades resultantes de acidentes catastróficos. Enquanto a agregação de contagens por semana, mês ou trimestre conduz a simplificações, registar o tempo entre eventos aparenta possuir uma vantagem óbvia pois não existe atraso em reportar a informação. Por outras palavras, significa que não é necessário esperar até ao final da semana, mês ou trimestre para analisar o comportamento do processo.
- Benneyan (1998a, 1998b) e Montgomery (2013) também recomendaram a monitorização do tempo entre eventos consecutivos por forma a obter uma maior eficiência.
- Gan (1994) comparou a *performance* de cartas CUSUM para o tempo entre eventos consecutivos com distribuição exponencial e para contagens agregadas com distribuição de Poisson. Os resultados obtidos com dois períodos de agregação demonstraram que a carta CUSUM baseada na distribuição exponencial foi mais sensível em detetar mudanças na taxa de ocorrência de eventos do que a carta CUSUM baseada em dados com distribuição de Poisson.
- Foram registados inúmeros problemas com procedimentos de monitorização comuns utilizados na saúde pública, tendo sido propostas soluções de *data mining* para lidar com as questões da agregação. Dubrawski (2011) sugeriu a utilização de uma representação dos dados numa estrutura chamada *T-Cube*, uma espécie de

representação em árvore que permite apresentar a informação de uma forma mais relacionada com o tempo.

- Num relatório emitido pelo Centro de Controlo e Prevenção de Doenças (CDC - *Centers for Disease Control and Prevention*), Burkom *et al.* (2004) investigaram a importância da agregação no caso de dados provenientes de vigilância biológica de um projeto da Agência de Projetos de Investigação Avançada em Defesa (DARPA - *Defense Advanced Research Projects Agency*).
- O efeito da agregação de dados em aplicações relativas a cartas de controlo tem sido investigado nalgumas situações comuns da indústria quando os dados seguem uma distribuição normal. Reynolds e Stoumbos (2004a) demonstraram que, com dimensão amostral fixa, a utilização de amostras de menor dimensão, ou seja, com menores níveis de agregação, é muito melhor para detetar mudanças significativas na média do processo.
- A carta CUSUM para dados com distribuição de Bernoulli pressupõe inspeção individual das observações, sendo o resultado – conformidade ou não conformidade – obtido após cada inspeção. Por sua vez, cartas Geométricas são baseadas no número de observações em conformidade entre sucessivas observações em não conformidade. Na mesma linha desse trabalho, Reynolds e Stoumbos (2000) compararam a *performance* de cartas CUSUM para dados com distribuição de Bernoulli e cartas CUSUM para dados com distribuição Binomial para amostras agregadas, tendo descoberto que as primeiras demonstraram no geral melhor *performance*, especialmente para detetar grandes aumentos nas taxas de observações em não conformidade.
- Adicionalmente, Szarka e Woodall (2011) discutiram este tópico na sua revisão de cartas de controlo baseadas na distribuição de Bernoulli.

Schuh *et al.* (2013) consideraram um caso de estudo com dados históricos sobre a ocorrência de acidentes consecutivos, tendo descoberto que as cartas CUSUM baseadas na distribuição exponencial sinalizam aumentos na taxa de ocorrência de acidentes mais depressa do que contagens agregadas diariamente, a cada três dias, semanalmente, de meio

em meio mês, mensalmente e trimestralmente. A comparação entre métodos de monitorização para dados agregados e para dados não agregados é importante uma vez que a agregação de dados se tornou uma prática comum em muitas aplicações.

No campo da saúde e segurança pública, os dados são frequentemente agregados e reportados como números de eventos ao longo de um determinado período de tempo, como, por exemplo, o número de erros cirúrgicos por mês ou o número de infeções hospitalares detetadas por mês. Neste caso de estudo está a ser analisado o número de isolamentos de microrganismos causadores de infeções hospitalares por um determinado período de tempo.

Apesar de alguns investigadores terem discutido problemáticas de vários tipos de agregação, focando-se mais nas questões relativas à agregação de dados para armazenamento, Schuh *et al.* (2013) interessaram-se mais em estudar os efeitos da agregação de dados ao longo do tempo, tal como o reporte anual, mensal ou semanal de dados.

Schuh *et al.* (2013) estenderam as investigações sobre o efeito da agregação de dados, explorando mais pormenorizadamente a *performance* relativa de cartas CUSUM para dados com distribuição Exponencial e cartas CUSUM para dados com distribuição de Poisson com alguns períodos de agregação mais longos.

Estes autores expandiram o trabalho de Gan (1994), considerando também os períodos de agregação mais usuais na área da saúde e segurança pública, ou seja, semanal, bi-semanal e mensal.

Para avaliar a *performance* de cartas CUSUM para o tempo entre eventos é usual recorrer-se à medida ATS – *Average Time to Signal* – que indica o tempo médio até ser emitido um sinal. Tal como acontecia no caso do ARL – *Average Run Length*, o valor de ATS deve ser elevado quando o processo está sob controlo e reduzido quando está fora de controlo. Na área da saúde pública pode ser útil considerar a unidade de tempo 1 dia. Neste caso, os valores de ATS indicam o número médio de dias que decorrem até ser emitido um sinal.

Com o recurso à simulação estatística, Schuh *et al.* (2013) concordaram com a conclusão de Gan (1994) de que a carta CUSUM para o tempo entre eventos é mais sensível a

diminuições no tempo médio entre ocorrências (aumento do número de ocorrências) do que a carta Poisson CUSUM baseada em intervalos de agregação de dimensão 1 e 10.

Quando se considera a utilização de cartas Poisson CUSUM ou cartas Exponencial CUSUM para o tempo entre eventos em aplicações na área da saúde pública, poderá ser útil considerar períodos de agregação mais longos. A título de exemplo, poderá ser mais comum registrar o número agregado de falhas cirúrgicas numa semana ou o número de infecções hospitalares num mês, o que poderá não corresponder aos intervalos temporais de 1 ou 10 apresentados por Gan (1994). Da mesma forma, relembre-se que no caso de estudo apresentado, os dados utilizados referem-se ao número agregado de isolamentos de microrganismos segundo um determinado período de tempo.

Schuh *et al.* (2013) compararam assim a *performance* de cartas Poisson CUSUM baseadas em períodos de agregação sucessivamente maiores – 1, 7, 14 e 30 períodos de agregação (dia, semana, mês, etc) – e da carta CUSUM para o tempo entre eventos. Concluíram que para grandes diminuições no tempo médio entre eventos, a carta CUSUM para o tempo entre eventos permite obter a melhor *performance*, tal como era esperado. No entanto, para diminuições menores no tempo médio entre eventos, cartas com períodos de agregação de maior dimensão começam a ser mais eficientes do que cartas com menores períodos de agregação. Em qualquer dos casos, a carta CUSUM para dados de Poisson utilizando uma agregação temporal de dimensão 1 teve a melhor *performance* face a todas as cartas consideradas no estudo. De referir que as cartas utilizadas no estudo foram construídas de forma a serem ótimas para detetarem uma diminuição no tempo médio entre eventos de 1 para 0,5 unidades de tempo.

Resultados similares foram apresentados por Reynolds e Stoumbos (2004a) para o caso de dados com distribuição de Bernoulli ou Binomial. Ao comparar apenas duas cartas para dados de Poisson com períodos de agregação menores, com a carta CUSUM para o tempo entre eventos, Gan (1994) não observou o fenómeno da melhor *performance* obtida pelas cartas CUSUM para dados de Poisson com períodos de agregação de maior dimensão.

Schuh *et al.* (2013) observaram assim que no geral, a carta CUSUM para o tempo entre eventos possui melhor *performance* que a carta Poisson baseada em agregações temporais, nomeadamente face à utilização de menores períodos de agregação. Terminaram o estudo

referindo que é importante investigar as causas de eventos adversos sérios mesmo quando não existe evidência de uma alteração no processo. Tais investigações e consequentes implementações de melhorias no processo não invalidam a utilização de cartas de controlo para verificar aumentos ou diminuições na taxa de eventos adversos. A deteção de aumentos no tempo entre eventos poderá indicar o sucesso de uma iniciativa levada a cabo para a melhoria do processo.

## 5.7 Conclusão

As cartas de controlo “com memória” revelaram-se mais eficazes para a deteção de alterações de menor dimensão no processo. Para o primeiro exemplo apresentado, verificou-se que tanto a carta CUSUM como a carta EWMA permitiram detetar um excesso de microrganismos do género *Proteus*, que passou despercebido à carta-c de Shewhart com a utilização dos tradicionais limites de controlo 3-sigma.

Com a agregação semanal do número de isolamentos de *Klebsiella* no serviço S12 foi possível aplicar cartas CUSUM e EWMA à monitorização de um processo de Poisson. Constatando que na segunda semana de novembro de 2013 o número de isolamentos deste microrganismo no serviço S12 atingiu um máximo de quatro isolamentos, a aplicação de cartas CUSUM e EWMA permitiu a emissão de um sinal na terceira e na primeira semana de outubro de 2013 respetivamente. Com a utilização de uma carta Exponencial CUSUM, esquema de controlo muito recomendado na literatura, considerando-se neste caso os eventos como isolamentos de *Klebsiella* no serviço S12, foi possível a emissão de um sinal no dia 2 de outubro de 2013. Evidenciou-se assim a clara vantagem da utilização deste esquema em detetar muito mais rapidamente alterações no processo, não sendo necessário aguardar até ao final do período de agregação para a emissão de um sinal.

Apesar de não ser possível obter uma resposta, subsiste deste caso de estudo uma questão de grande relevância: Será que a emissão de um sinal no segundo dia ou mesmo no final da primeira ou terceira semana de outubro de 2013 poderia ter evitado o elevado valor verificado na segunda semana de novembro desse mesmo ano?

## **Capítulo 6 – Conclusões e trabalhos futuros**

A presente dissertação teve como ponto de partida a constatação da existência de uma atual necessidade real de desenvolver esforços de combate às infeções hospitalares. Atualmente, os hospitais dedicam tempo e recursos a esta problemática, nomeadamente através do trabalho das comissões de controlo de infeções que procuram sempre reforçar a vigilância epidemiológica no sentido de reduzir o número de infeções. Relembre-se que tanto a nível nacional como internacional, os programas de prevenção e controlo de infeções hospitalares têm evoluído impondo maiores exigências aos hospitais.

A revisão bibliográfica apresentada sobre o controlo estatístico de processos na saúde evidenciou que as cartas de controlo são ferramentas que se podem revestir de grande utilidade, munindo os profissionais de saúde de esquemas estatísticos sensíveis a alterações no comportamento de variáveis importantes tais como o número de isolamentos de microrganismos causadores de infeções hospitalares. Pela sua simplicidade de construção e interpretação, a utilização de cartas de controlo pode de facto assumir um importante papel no controlo de infeções hospitalares, reforçando a vigilância epidemiológica, e contribuindo para os esforços que os hospitais têm vindo a levar a cabo no combate a esta problemática.

### **6.1 Conclusões finais**

No caso de estudo evidenciou-se que a utilização das cartas de controlo pode ter diversas finalidades. Foram desenvolvidas cartas de controlo que permitiram identificar não só que o número de isolamentos de determinados microrganismos está sob controlo, como também detetar situações em que a sua evolução saiu fora de controlo, quer evidenciando um excesso de isolamentos, quer uma diminuição que resulta de uma melhoria do processo.

Especial destaque foi dado às cartas “com memória” CUSUM e EWMA, tendo-se constatado que estes métodos mais sofisticados são bastante mais sensíveis que a utilização das tradicionais cartas de Shewhart com os usuais limites de controlo 3-sigma, tendo portanto utilidade acrescida em áreas como a da saúde onde a garantia de um processo sob controlo é extremamente importante. Relembre-se ainda que a aplicação de regras de *runs*

nas cartas de Shewhart pode aumentar a sua *performance*. No entanto, conforme foi referido, a simplicidade de interpretação das cartas de controlo é uma das maiores vantagens destas ferramentas. Considera-se assim que num contexto prático é de esperar que a utilização das cartas CUSUM e EWMA por profissionais de saúde seja preferível à utilização de cartas de Shewhart com aplicação das regras de *runs*.

Reconhecendo que as cartas de controlo se aplicavam mais frequentemente a variáveis contínuas, Lucas (1985) desenvolveu um trabalho sobre a sua aplicação a contagens, apresentando a formulação destas ferramentas para dados discretos. Foi assim apresentada a formulação de cartas CUSUM para dados de Poisson, tendo-se constatado que para além de possuírem melhores propriedades de ARL face às cartas-c de Shewhart, beneficiam ainda de outras vantagens tais como maior facilidade de computação, programação e apresentação gráfica; maior facilidade para o operador em visualizar tendências no sentido do estado de fora de controlo; maior robustez no sentido em que cumpre os seus objetivos mesmo quando os dados não representam um processo de Poisson, isto é, é menos sensível a desvios em relação à distribuição assumida para descrever os dados do processo; vantagem da carta Poisson CUSUM em poder ser parametrizada para detetar aumentos ou diminuições específicas na média do processo, o que não acontece na carta-c de Shewhart; e o facto da carta-c de Shewhart poder ser considerada um caso especial de uma carta CUSUM em que  $H = 0$  e  $K = c + 3\sqrt{c}$ , estando parametrizada para detetar alterações grandes no processo, torna a carta Poisson CUSUM muito melhor para detetar alterações de menor dimensão.

Lucas e Crosier (1982 b) referiram a possibilidade de utilizar cartas CUSUM robustas impondo para o efeito um limite de controlo adicional de deteção de *outliers*. Uma carta CUSUM robusta é assim obtida utilizando a regra de “dois pontos consecutivos”, ou seja, uma observação que exceda o limite de deteção de *outliers* não significa que o processo esteja fora de controlo, mas duas observações consecutivas já traduzem que o processo está de facto fora de controlo. Para o caso de estudo apresentado, foi construída uma carta CUSUM robusta, tendo sido possível identificar uma situação de fora de controlo, colocando em prática a regras dos “dois pontos consecutivos”.

Por sua vez, tal como no caso da carta CUSUM, a carta EWMA também pode ser aplicada a dados com distribuição de Poisson. Borrer *et al.* (1998) apresentaram a formulação da carta EWMA para procedimentos com distribuição de Poisson, tendo concluído que uma das vantagens deste esquema é o facto dos valores de ARL obtidos serem geralmente inferiores aos valores de ARL de uma carta-c de Shewhart.

Relembre-se que no caso de estudo, a utilização da uma carta Poisson EWMA com o fator  $L = 2$  detetou mais rapidamente uma situação de fora de controlo que uma carta Poisson EWMA com  $L = 3$ , sem por isso ter emitido falsos alarmes antes. Por sua vez, ambas as cartas emitiram um sinal mais rapidamente que a carta Poisson CUSUM construída para os mesmos dados.

A utilização de uma carta Poisson CUSUM para a monitorização do número de isolamentos obriga a que se aguarde até ao final do período de agregação para representar o valor na carta, e conseqüentemente, averiguar se o intervalo de decisão  $H$  é ou não excedido. Por sua vez, a carta Exponencial CUSUM, para monitorização do tempo entre eventos, permite que uma situação de fora de controlo seja detetada mais rapidamente pois antes do final de um período de agregação, o tempo entre eventos pode ser menor que um determinado limite estabelecido, sendo imediatamente emitido um sinal quando tal acontece. Dessa forma, a monitorização de um processo através da carta Exponencial CUSUM irá permitir um controlo mais constante, significando neste caso que a Comissão de Controlo de Infecção se poderá eventualmente munir de uma ferramenta para monitorizar a evolução do número de isolamentos de microrganismos em tempo real.

Verificou-se no caso de estudo que a carta Exponencial CUSUM permitiu detetar uma situação de fora de controlo mais rapidamente que a carta Poisson CUSUM para os mesmos dados, com uma *performance* semelhante, sob controlo.

Adicionalmente, tenha-se em consideração que a agregação dos eventos segundo períodos temporais de diferentes dimensões tem impacto na *performance* das cartas. Schuh *et al.* (2013) observaram que no geral, a carta CUSUM para o tempo entre eventos possui melhor *performance* que a carta Poisson baseada em agregações temporais, nomeadamente face à utilização de menores períodos de agregação.

Ao longo do trabalho, as conclusões foram sendo corroboradas com exemplos práticos construídos a partir de uma base de dados real. Considera-se tal facto de grande relevância, uma vez que a validação da utilidade das cartas de controlo através da utilização de dados reais evidencia o potencial destas ferramentas num contexto pragmático.

Reitera-se que o nível de envolvimento entre o analista e os profissionais de saúde é fulcral. De facto, desde a escolha dos parâmetros das cartas à clara perceção das consequências que uma tomada de ação face à emissão de um sinal de fora de controlo cria no processo, deve ser sempre da atenção do analista procurar que a modelação das variáveis seja feita da forma mais próxima da realidade possível, ajustando ao funcionamento das cartas especificidades inerentes ao processo a monitorizar que provêm do conhecimento e experiência dos profissionais de saúde.

## **6.2 Desafios para trabalhos futuros**

Apesar do presente estudo ter incidido sobre a monitorização da prevalência de agentes causadores de infeções hospitalares ao longo do tempo, a aplicação de cartas de controlo pode ser muito alargada na área da saúde. De facto, todas as variáveis passíveis de medição, desde tempos de espera dos doentes, em ambulatório ou em internamento, até aos sinais vitais, podem ser monitorizadas através de cartas de controlo. Os objetivos das cartas podem assim revelar-se úteis a diversos níveis, desde a investigação operacional, visando a otimização de processos logísticos, até questões de carácter exclusivamente médico e científico tal como o controlo dos valores dos sinais vitais por um anestesista, por exemplo.

Será de todo o interesse compreender que processos podem beneficiar das vantagens destas ferramentas, de que forma poderão ser utilizadas num contexto prático, e qual o impacto na melhoria dos processos.

Por outro lado, a implementação efetiva de um sistema de controlo estatístico assente na utilização de cartas de controlo para a monitorização da evolução do número de isolamentos de microrganismos causadores de infeções hospitalares parece ser também um desenvolvimento futuro com grande interesse. Em estreita articulação com a Comissão de Controlo de Infeção, a implementação de tal sistema será o próximo passo lógico na criação

de uma nova e poderosa ferramenta da qual os profissionais de saúde possam efetivamente fazer uso, introduzindo uma modernização importante no combate às infecções hospitalares.

## Referências

Barroso, H.; Meliço-Silvestre, A. e Taveira, N. (2014), *Microbiologia Médica*, Edições Lidel.

Benneyan, J. C. (1998a), “Statistical quality control methods in infection control and hospital epidemiology, Part 1: Introduction and Basic Theory”, *Infection Control and Hospital Epidemiology*, vol.19, nº3, pp. 194-214.

Benneyan, J. C. (1998b), “Statistical quality control methods in infection control and hospital epidemiology, Part 2: Chart use, Statistical properties and Research issues”, *Infection Control and Hospital Epidemiology*, vol 19, nº4, pp. 265-283.

Benneyan, J. C. (2001a), “Design, Use, and Performance of Statistical Control Charts for Clinical Process Improvement”, Northeastern University, Boston MA, pp.1-26.

Benneyan, J.C. (2001b), “Performance of number-between g-type statistical control charts for monitoring adverse events”, *Health care management science*, vol 4, pp. 319-336.

Benneyan, J. C. (2008), “The design, selection, and performance of statistical control charts for healthcare process improvement”, *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, vol.4 nº3, pp. 209-239.

Bergman, B.; Hellstrom, A.;Lifvergren, S.; Gustavsson, S.M. (2015), “An emerging science of improvement in health care”, *Quality Engeneering*, vol. 27 nº1, pp.17-34.

Borrór, C. M.; Champ, C. W.; and Rigdon, S. E. (1998), “Poisson EWMA Control Charts”, *Journal of Quality Technology*, vol. 30 nº4, pp. 352-361.

Burkom, H.S.; Elbert, Y.; Feldman, A.; and Lin, J. (2004), “Role of data aggregation in biosurveillance detection strategies with applications from ESSENCE”, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, vol. 53, pp.67-73.

Carey, R. G. (2003), “*Improving Healthcare with Control Charts: Basic and Advances SWPC Methods and Case Studies*”, Milwaukee: American Society for Quality Quality Press.

Direção-Geral da Saúde (2013), *Portugal – Controlo da Infeção e Resistências aos Antimicrobianos em números – 2013*, Programa de Prevenção e Controlo de Infeções e de Resistência aos Antimicrobianos.

Direção-Geral da Saúde (2007), *Programa Nacional de Prevenção e Controlo da Infecção Associada aos Cuidados de Saúde*, Lisboa, Março de 2007.

Dubrawski, A. (2011), “The role of data aggregation in Public Health and Food Safety surveillance”, *Biosurveillance: Methods and case studies*, pp.161-179.

Ferreira, W.C.; Sousa, J.C.F. e Lima, N.(2010), *Microbiologia*, Edições Lidel.

Figueiredo, F. (1995), *Desenvolvimentos recentes em cartas de controlo*, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências de Lisboa.

Figueiredo, F.; Figueiredo, A.; Ramos, A.; Teles, P.(2009), *Estatística Descritiva e Probabilidades*, Escolar Editora, 2ª Edição.

Gan, F. F. (1991), “Monitoring observations generated from a binomial distribution using modified exponentially weighted moving average control charts”, *Journal of Statistical Computation and Simulation*, vol.37, pp.45-61.

Gan, F. F. (1994), “Design of optimal exponential CUSUM control charts”, *Journal of Quality technology*, vol. 26 n°2, pp.109-123.

Guimarães, R.C.; Cabral, J.A.S.(1997), *Estatística* (2002), Mc Graw-Hill.

Hutwagner, L., Thompson, W. W., Seeman, G. M. and Treadwell, T. (2003), “The Bioterrorism Preparedness and Response Early Aberration Reporting System (EARS)”, *J. Urban. Health*, vol.80 n°2, pp.89-96.

Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge (2002), *Prevenção de Infecções Adquiridas no Hospital, Um Guia Prático*; 2ª Edição.

Jura, J.M.; Gryna, F.M. (1993), *Quality planning and analysis*, McGraw-Hill, 3ª Edição.

Lee and McGreevey (2002), “Using control charts to assess performance measurement data”, *Journal on Quality improvement*, vol.28, pp.90-101.

Limaye, S. S., Mastrangelo, C. M., Zerr, D. M. and Jeffries, H. (2008), “A statistical approach to reduce hospital associated infections”, *Quality and Reliability Engineering International*.

Lucas, J. M., and Crosier, R. B. (1982a), "Fast Initial Response (FIR) for Cumulative Sum Quality Control Schemes," *Technometrics*, vol.24 n°3, pp.199-205.

Lucas, J. M., and Crosier, R. B. (1982b), "Robust CUSUM," *Communications in Statistics, Part A- Theory and Methods*, vol.11 n°23, 2669-2687.

- Lucas, J. M. (1985), "Counted Data CUSUM's", *Technometrics*, vol.27 n°2, pp.129-144.
- Lucas, J. M. and Saccucci, M. S. (1990). "Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements", *Technometric*, vol.32 n°1, pp.1-12.
- Mohammed, M.A., Worthington, P. and Woodall, W.H. (2008), "Plotting basic control charts: Tutorial notes for healthcare practitioners", *Quality and Safety in Health Care*, vol.17, pp.137-145.
- Montgomery, D.C (2013), *Introduction to Statistical Quality Control*, 7th Edition, Wiley.
- Morton, A. P., Whitby, M., McLaws, M., Dobson, A., McElwain, S., Looke, D., Stackelroth, J. and Sartor, A. (2001), "The Application of Statistical Process Control Charts to the Detection and Monitoring of Hospital- Acquired Infections", *Journal of Quality Clinical Practice*, vol.21, pp.112-117.
- Morton, A. P., MD; Clements, Archie C. A., Doidge, Shane R., Stackelroth, Jenny, Curtis, Merylyn, Whitby, Michael (2008), "Surveillance of healthcare-acquired infection in Queensland, Australia: Data and Lessons from the first 5 years", *Infection control and hospital epidemiology*, vol.29, pp.695-701.
- Murteira, B.; Ribeiro, C.S.; Silva, J.A.; Pimenta, C. (2002), *Introdução à Estatística*, Mc Graw-Hill.
- Noskievičová, D. (2013), "Complex Control Chart Interpretation", *International Journal of Engineering Business Management*, vol.5, pp.1-7.
- Page, E. S. (1954), "Continuous Inspection Schemes", *Biometrika*, vol.41, pp.100-114.
- Pittet, D.; Donaldson, Liam (2005), "Clean Care is Safer Care: The First Global Challenge of the WHO World Alliance for Patient Safety", *Infection Control and Hospital Epidemiology*.
- Reynolds, M.R., Jr. and Stoumbos, Z.G (2000), "A general approach to modeling CUSUM charts for a proportion". *IIE Transactions*, vol.32 n°6, pp.515-535.
- Reynolds, M.R., Jr. and Stoumbos, Z.G. (2004a), "Control charts and the efficient allocation of sampling resources", *Technometrics*, vol.46 n°2, pp.200-214.
- Reynolds, M.R., Jr. and Stoumbos, Z.G. (2004b), "Should observations be grouped for effective process monitoring?", *Journal of quality technology*, vol.36, n°4, pp.343-366.
- Roberts, S.W. (1959), "Control chart tests based on geometric moving averages", *Technometrics*, vol.1 n°3, pp.239-250.

- Rogerson, P.A. (2001), "Monitoring point patterns for the development of space-time clusters", *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*, vol.164 n°1, pp.87-96.
- Rogerson, P.A. and Yamada, I. (2004a). "Approaches to Syndromic Surveillance When Data Consist of Small Regional Counts", *Morbidity and Mortality Weekly Report*, pp.79-85.
- Rogerson, P.A., and Yamada, I. (2004b), "Monitoring Change in Spatial Patterns of Disease: Comparing Univariate and Multivariate Cumulative Sum Approaches", *Statistics in Medicine*, vol.23 n°14, pp.2195-2214.
- Schuh, A.; Woodall, W.H.; Camelio, J.A. (2013), "The effect of aggregating data when monitoring a Poisson process", *Journal of quality technology*, vol.45 n°3, pp.260-272.
- Sonesson, C. and Bock. D. (2003), "A review and Discussion of Prospective Statistical Surveillance in Public Health", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, vol.166 n°1, pp.5-21.
- Swift, J.A. (1995), *Introduction to Modern Statistical Quality Control and Management*, Delray Beach: St. Lucie Press.
- Szarka and Woodall (2011), "A review and prespective on surveillance of high quality bernoulli processes" *Quality and reliability engineering internacional*, vol.27 n°6, pp.735-752.
- Thor, J.; Lundberg, J.; Ask, J.; Olsson, J.; Carli, C.; Härenstam, K.P.; and Brommels, M. (2007), "Application of statistical process control in healthcare improvement: Systematic review", *Quality and Safety in health care*, vol.16, pp.387-399.
- Unkel, S., Paddy Farrington, C. and Garthwaite , P.H. (2012), "Statistical methods for the prospective detection of infectious disease outbreaks: a review", *J.R. Statist. Soc.A*, vol.175, Part 1, pp.49-82.
- White, C.H.; Keats, J.B.; and Stanley, J. (1997), "Poisson CUSUM versus c chart for defect data", *Quality Engeneering*, vol.9 n°4, pp.673-679.
- Winkel, P. and Zang, N.F. (2007), *Statistical Development of Quality in Medicine*, John Wiley & Sons.
- Woodal, W.H. (2000), "Controversies and Contadictions in Statistical Process Control" (with discussion). *Journal of Quality Technology*, vol.32 n°4, pp.341-350.
- Woodall, W. H. (2004), "Review of Improving Healthcare with control charts by Raymond G. Carey", *Journal of Quality Technology*, vol.36, pp.336-338.

Woodal, W. H. (2006), “The use of control charts in health-care and public health surveillance”, Virginia Tech, Blacksburg, vol.38, pp.89-104.

Woodall, W. H., Adams, Benjamin M., Benneyan, James C. and VISN1 Engineering Resource Center (2011), “The use of control charts in Healthcare”, *Statistical Methods in Health Care*, F. Fatin, R. Kenett, F. Ruggeri, eds., Wiley.

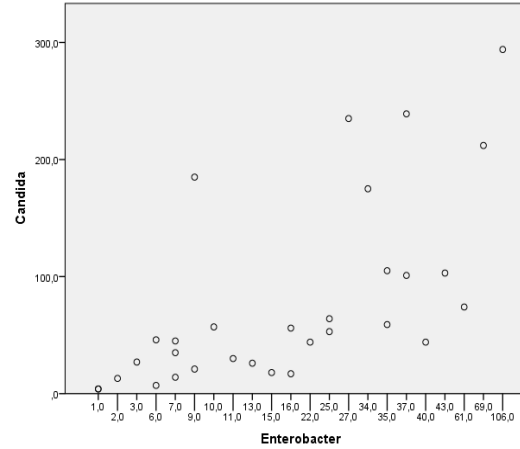
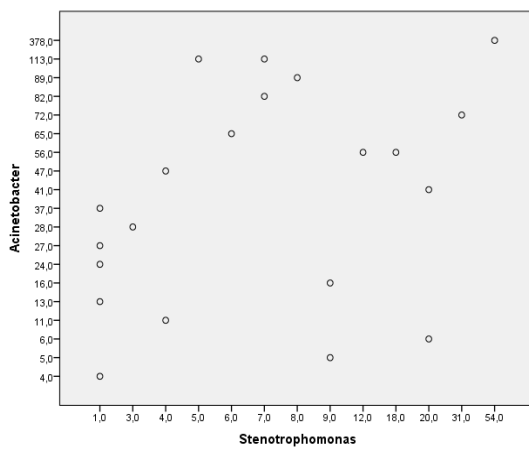
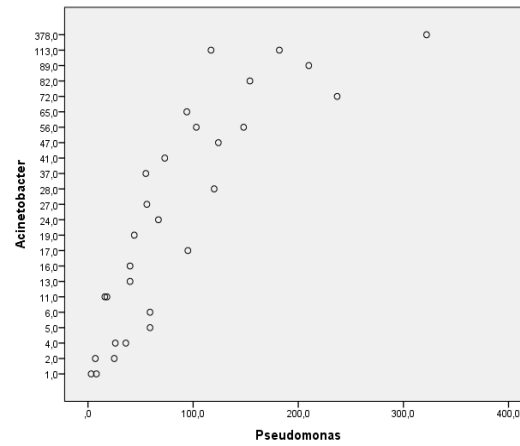
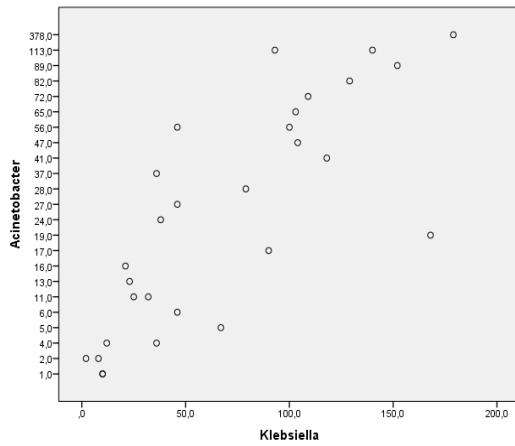
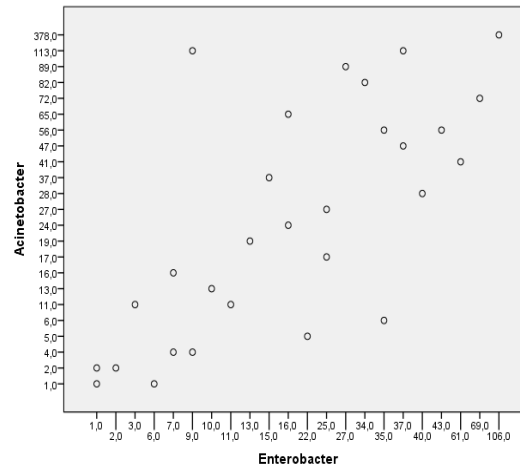
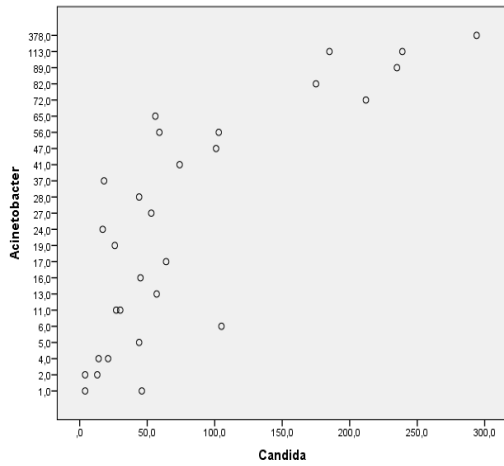
Woodall, W.H, Montgomery, D.C. (2014), “Current directions in the theory and application of statistical process monitoring”, *Journal of quality technology*, vol.46 n°1, pp.78-94.

World Health Organization (2014), Global Alert and Response (GAR): *Infection prevention and control in health care for preparedness and response to outbreaks*, acedido a 17 de janeiro de 2014,  
<[http://www.who.int/csr/bioriskreduction/infection\\_control/background/en/index.html](http://www.who.int/csr/bioriskreduction/infection_control/background/en/index.html)>

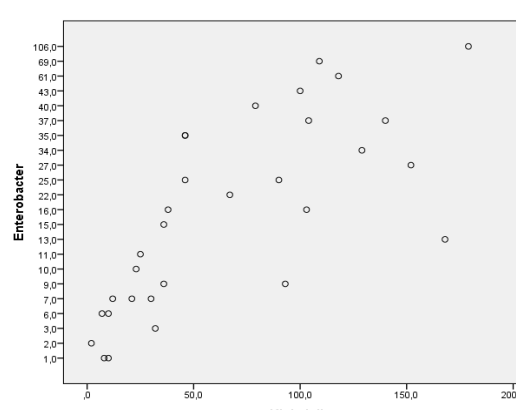
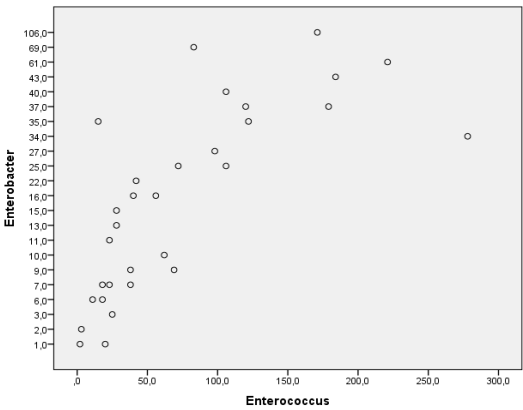
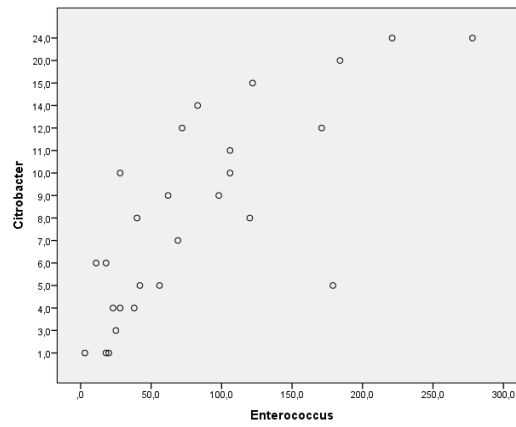
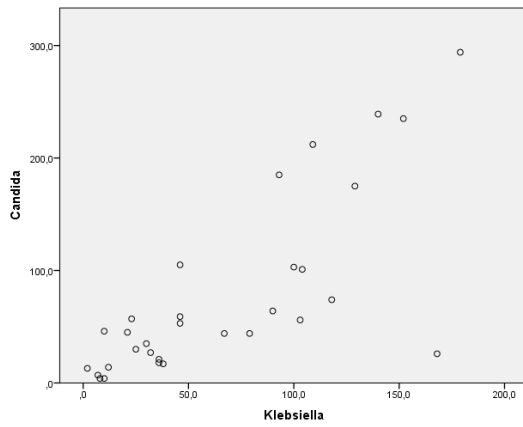
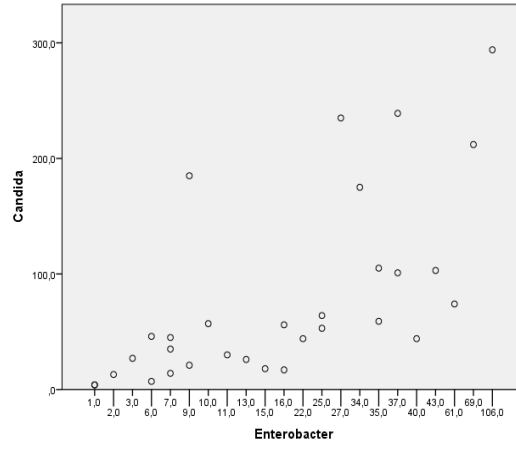
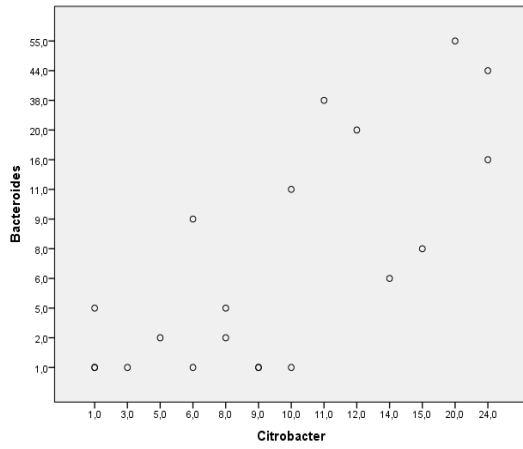
Wu, Z.; Liu, Y.; Zhen, H.; and Khoo, M. (2010), “A cumulative sum scheme for monitoring frequency and size of an event”, *Quality and reliability engeneering international*, vol.26 n°6, pp.541-554.

# Anexos

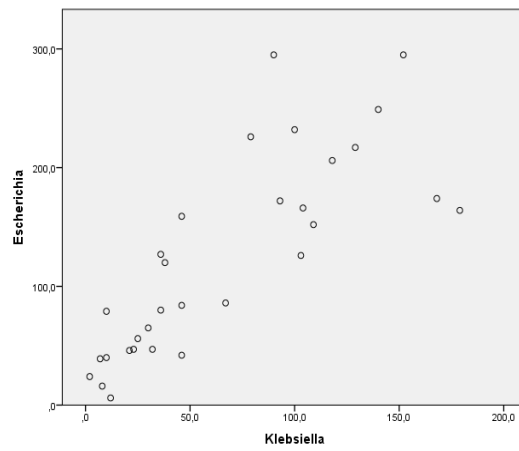
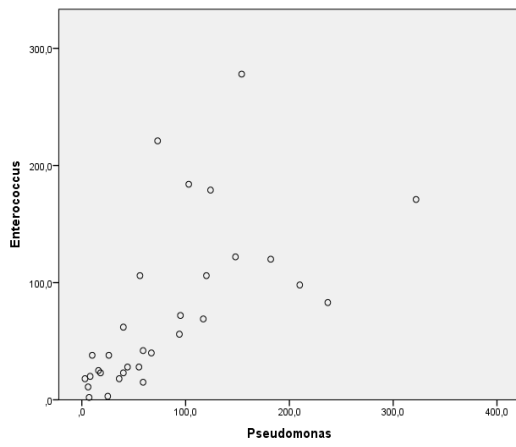
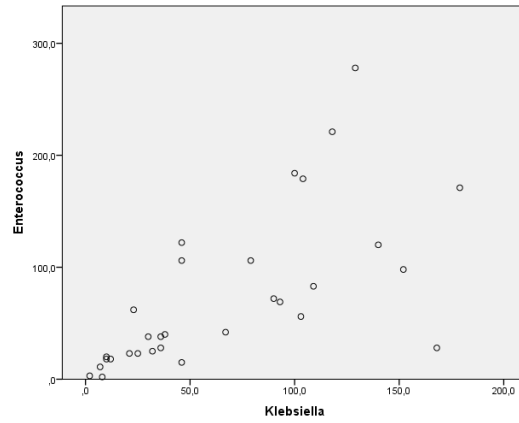
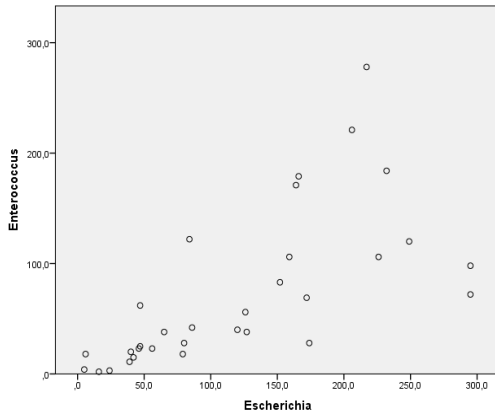
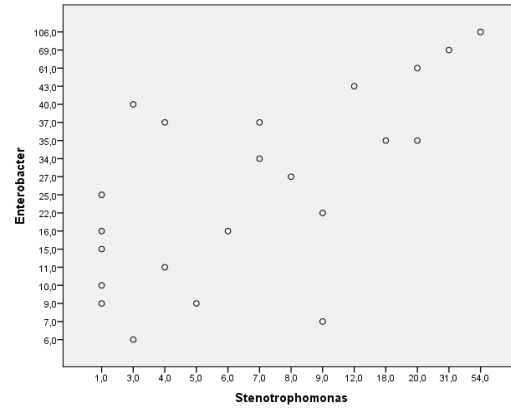
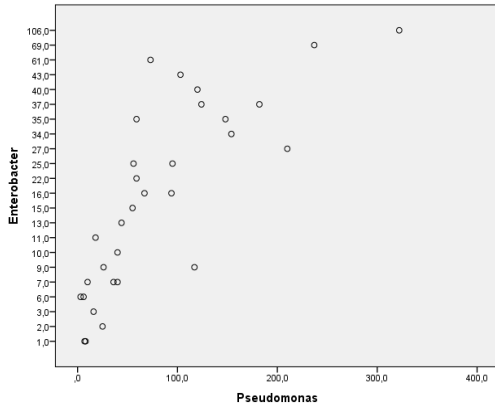
## A.1 – Anexo Capítulo 3



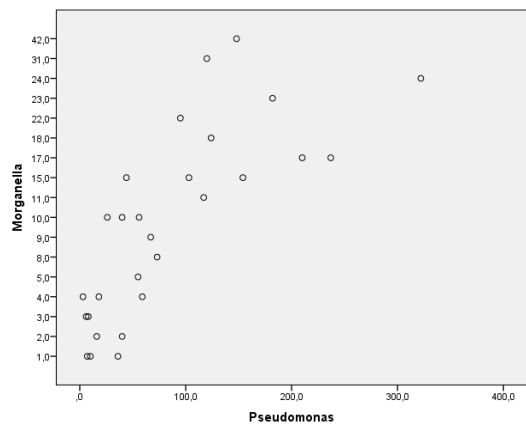
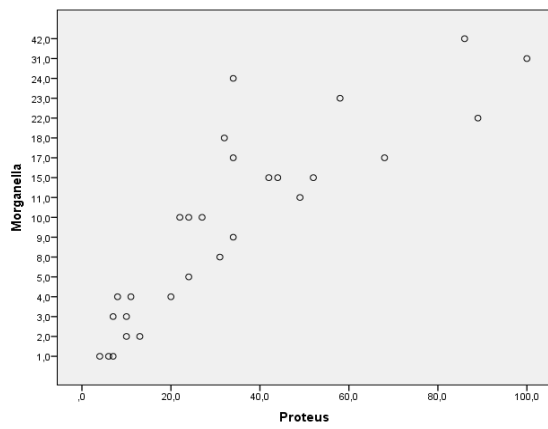
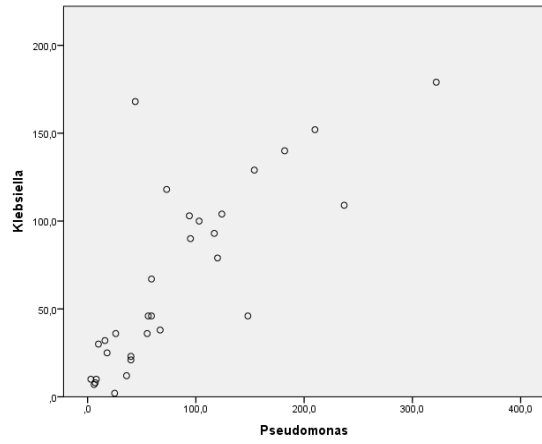
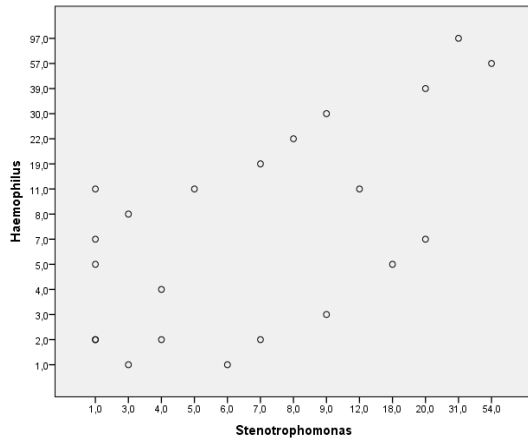
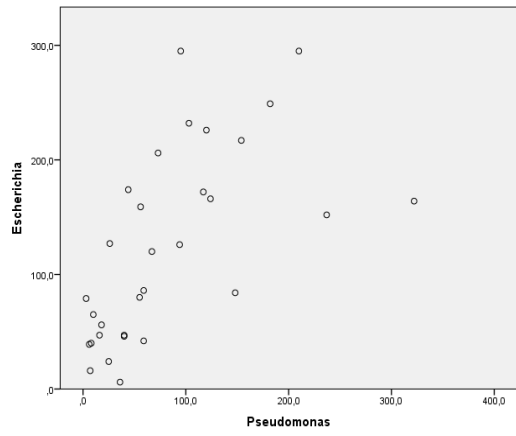
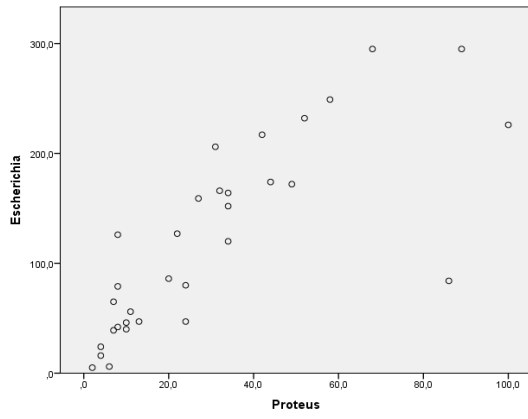
(continua)



(continua)



(continua)



(continua)

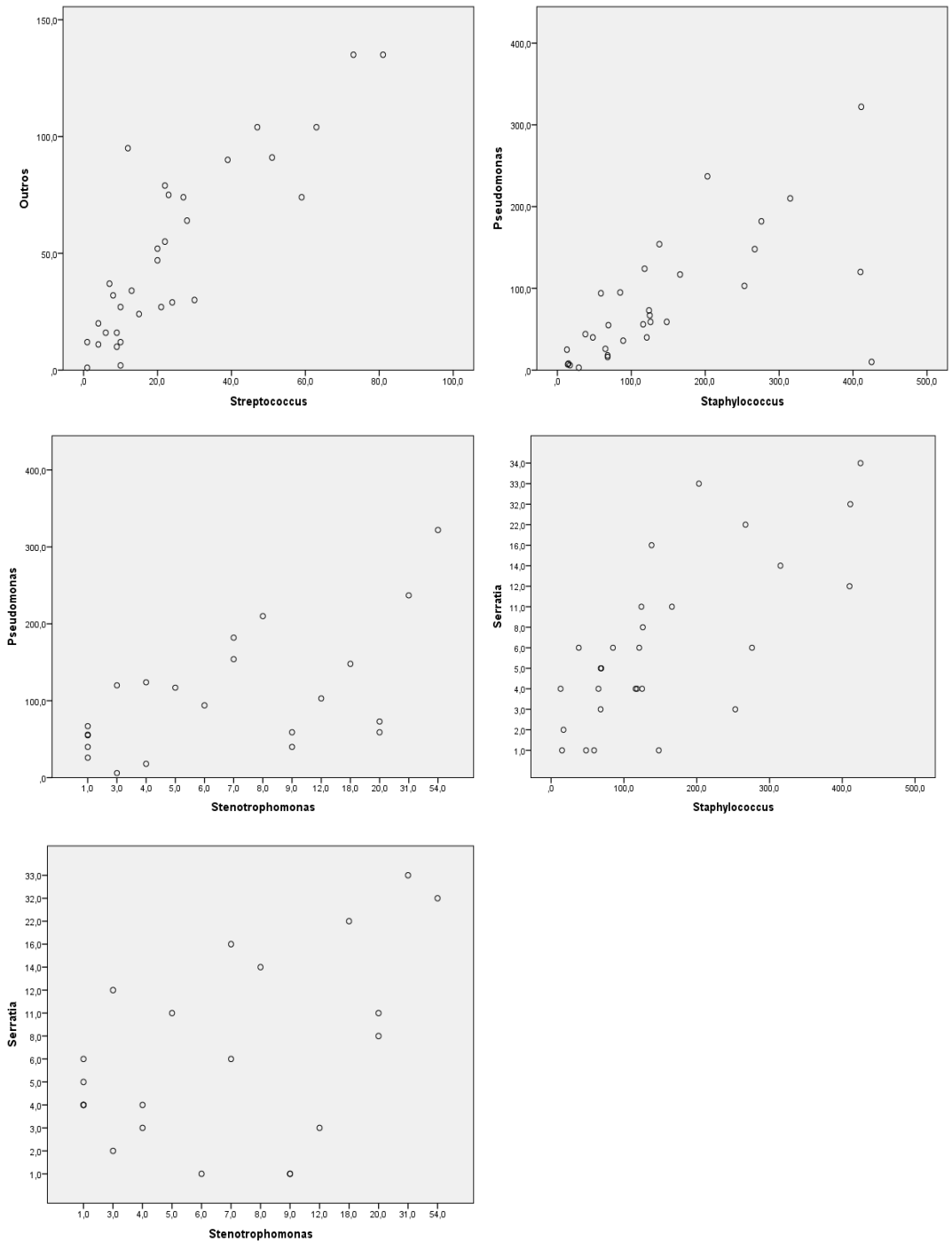


Figura A.1.1 – Diagrama de Dispersão - gêneros de microrganismos.

## A.2 – Anexo Capítulo 4

Variável	Teste de Hipóteses	Período A	Período B	$ET_{obs}$	RC para $\alpha=5\%$	Conclusão	Linha
<i>Staphylococcus</i>	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	janeiro de 2010 a dezembro de 2011	janeiro de 2012 a março de 2013	2,280427	]1,644854; +inf [	Hipótese Nula é rejeitada para um nível de significância de 5%, concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos do género <i>Staphylococcus</i> entre 2010 e 2011 é superior ao número de deteções de microrganismos do género <i>Staphylococcus</i> entre janeiro de 2012 e março de 2013	(a)
<i>Staphylococcus</i>	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	janeiro de 2012 a março de 2013	abril de 2013 a março de 2014	2,95594	]1,644854; +inf [	Hipótese Nula é rejeitada para um nível de significância de 5%, concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos do género <i>Staphylococcus</i> entre janeiro de 2012 e março de 2013 é superior ao número de deteções de microrganismos do género <i>Staphylococcus</i> entre abril de 2013 e março de 2014.	(b)
<i>Escherichia</i>	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	janeiro de 2010 a setembro de 2011	outubro de 2011 a março de 2014	3,419541	]1,644854; +inf [	Hipótese Nula é rejeitada para um nível de significância de 5% concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos do género <i>Escherichia</i> antes de outubro de 2011 foi superior ao número de deteções de microrganismos do género <i>Escherichia</i> verificadas a partir de outubro de 2011.	(c)
<i>Pseudomonas</i>	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	janeiro de 2010 a agosto de 2011	setembro de 2011 a agosto de 2012	7,798375	]1,644854; +inf [	Hipótese Nula é rejeitada para um nível de significância de 5%, concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos do género <i>Pseudomonas</i> antes de setembro de 2011 é superior ao número de deteções de microrganismos do género <i>Pseudomonas</i> entre setembro de 2011 e agosto de 2012.	(d)
<i>Pseudomonas</i>	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	setembro de 2012 a março de 2014	setembro de 2011 a agosto de 2012	3,377177	]1,644854; +inf [	Hipótese Nula é rejeitada para um nível de significância de 5%, concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos do género <i>Pseudomonas</i> entre setembro de 2012 e março de 2014 é superior ao número de deteções de microrganismos do género <i>Pseudomonas</i> entre setembro de 2011 e agosto de 2012.	(e)
<i>Klebsiella</i>	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	Em 2010	Em 2011	2,668368	]1,644854; +inf [	Hipótese Nula é rejeitada concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos do género <i>Klebsiella</i> em 2010 é superior ao número de deteções de microrganismos do género <i>Klebsiella</i> em 2011.	(f)
<i>Klebsiella</i>	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	janeiro de 2012 a março de 2014	2011	2,697472	]1,644854; +inf [	Hipótese Nula é rejeitada concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos do género <i>Klebsiella</i> em 2011 é inferior ao número de deteções de microrganismos do género <i>Klebsiella</i> nos anos posteriores	(g)

(continua)

Variável	Teste de Hipóteses	Período A	Período B	$ET_{obs}$	RC para $\alpha=5\%$	Conclusão	Linha
Proteus	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	dezembro de 2012 e março de 2014	janeiro de 2010 a novembro de 2012	3,01203	]1,644854; +inf[	Hipótese Nula rejeitada concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos do género Proteus a partir de dezembro de 2012 é superior ao número de deteções de microrganismos do género Proteus antes de dezembro de 2012.	(h)
S12	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	2010 e 2011	janeiro de 2012 a novembro de 2012	5,95667	]1,644854; +inf[	Hipótese Nula rejeitada concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos no serviço S12 em 2010 e 2011 é superior ao número de deteções de microrganismos no serviço S12 entre janeiro e novembro de 2012.	(i)
S12	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	dezembro de 2012 a março de 2014	janeiro de 2012 a novembro de 2012	7,078208	]1,644854; +inf[	Hipótese Nula rejeitada concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos no serviço S12 entre dezembro de 2012 e março de 2014 é superior ao número de deteções de microrganismos no serviço S12 entre janeiro e novembro de 2012.	(j)
S31	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	maio de 2011 a dezembro de 2011	janeiro de 2010 a abril de 2011	3,903874	]1,644854; +inf[	Hipótese Nula rejeitada concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos no serviço S31 entre maio e dezembro de 2011 é superior ao número de deteções de microrganismos no serviço S31 antes de maio de 2011.	(k)
S31	$H_0: \mu_A - \mu_B = 0$ $H_1: \mu_A - \mu_B > 0$	agosto de 2012 a março de 2014	janeiro de 2010 a maio de 2011	3,275386	]1,644854; +inf[	Hipótese Nula rejeitada concluindo-se que, em média, o número de deteções de microrganismos no serviço S31 a partir de agosto de 2012 é superior ao número de deteções de microrganismos no serviço S31 antes de maio de 2011.	(l)

Tabela A.2.1 – Tabela de testes de hipóteses para a igualdade das médias.