

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS**

**IDENTIFICAÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PERIGOS BIOLÓGICOS EM PRODUTOS
DE ORIGEM SUÍNA E MODELO DE AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS
PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO SOBRE A CONTAMINAÇÃO DE CARCAÇAS
SUÍNAS**

EDUARDO DE FREITAS COSTA

PORTO ALEGRE

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS

**IDENTIFICAÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PERIGOS BIOLÓGICOS EM PRODUTOS
DE ORIGEM SUÍNA E MODELO DE AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS
PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO SOBRE A CONTAMINAÇÃO DE CARCAÇAS
SUÍNAS**

Autor: Eduardo de Freitas Costa*

**Tese apresentada como requisito parcial
para obtenção de grau de Doutor em
Ciências Veterinárias, Especialidade
Epidemiologia, Saneamento e Profilaxia.**

Orientador: Dr. Luís Gustavo Corbellini

PORTO ALEGRE

2016

*Médico Veterinário Msc

CIP - Catalogação na Publicação

Costa, Eduardo

IDENTIFICAÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PERIGOS BIOLÓGICOS EM PRODUTOS DE ORIGEM SUÍNA E MODELO DE AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO SOBRE A CONTAMINAÇÃO DE CARÇAÇAS SUÍNAS / Eduardo Costa. -- 2016.

107 f.

Orientador: Luis Gustavo Corbellini.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Avaliação de riscos. 2. Carcaças de suínos. 3. Priorização de perigos. 4. Modelagem matemática. 5. Contaminação cruzada. I. Corbellini, Luis Gustavo, orient. II. Título.

EDUARDO DE FREITAS COSTA

**IDENTIFICAÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE PERIGOS BIOLÓGICOS EM
PRODUTOS DE ORIGEM SUÍNA E MODELO DE AVALIAÇÃO DO EFEITO
DOS PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO SOBRE A CONTAMINAÇÃO DE
CARCAÇAS SUÍNAS**

Aprovada em 26 de Agosto de 2016

APROVADO POR:

Prof. Dr. Luís Gustavo Corbellini
Orientador

Dra. Jalusa Deon Kich (EMBRAPA/CNPSA)
Membro da Comissão

Profª. Dra. Maria Cristina Varriale (UFRGS)
Membro da Comissão

Profª. Dra. Marisa Ribeiro de Itapema Cardoso (UFRGS)
Membro da Comissão

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos colegas do Laboratório de Epidemiologia Veterinária, Laboratório de Medicina Veterinária Preventiva e do grupo de Avaliação de Riscos e Benefícios da Universidade Técnica da Dinamarca, pela amizade e colaboração no desenvolvimento do trabalho. Agradeço nominalmente a meus orientadores Dr. Luis Gustavo Corbellini e Dr. Maarten Nauta pela compreensão, incentivo e correções ao longo deste trabalho.

Agradeço à minha família pelo apoio e oportunidade de ter estudado, especialmente agradeço à minha mãe Maria Angela de Freitas (*In memoriam*), irmão Nelson de Freitas Costa e pai Renato Luiz Dutra Costa. Agradeço também à família Hoffmann/Mortari pela calorosa acolhida em especial à Fernanda Hoffmann Mortari pela amizade, amor e carinho nesses anos.

Da mesma forma agradeço a todos os cidadãos que acreditam na importância da oferta de educação de qualidade bancando um sistema de educação público por meio de seus impostos.

RESUMO

As mudanças na cadeia de produção de suínos no Brasil levaram, por um lado, a um elevado status sanitário e por outro um processo de intensificação da produção, principalmente em relação aos rebanhos classificados como industriais, que seguem padrões específicos de manejo, nutrição e biossegurança. Com isso os perigos à saúde pública também sofreram alterações de forma que agentes zoonóticos clássicos ocorrem de forma esporádica. Neste contexto, agentes microbiológicos tornam-se potencialmente importantes visto a complexidade do ciclo de manutenção e consequente controle na cadeia de população animal. Por outro lado, o serviço de inspeção de carcaças, que tem como intuito final promover a saúde pública, tem acompanhado de forma discreta as mudanças na produção primária, sendo que o serviço de inspeção se utiliza de exames físicos como cortes e palpação com o intuito de identificar lesões macroscópicas ou parasitos. Desta forma o trabalho teve o objetivo de identificar e priorizar diferentes perigos à saúde pública por meio do consumo de carne suína, bem como propor um modelo quantitativo para a avaliação dos procedimentos de inspeção sobre a contaminação das carcaças. A priorização dos perigos foi realizada por meio de uma avaliação qualitativa de riscos composta de identificação de perigos, avaliação de presença, avaliação de exposição e avaliação de consequências, considerando desde a produção primária até o consumo. O modelo de contaminação cruzada foi feito por meio de um sistema de cinco equações de diferença que descrevem as mudanças nas concentrações de perigo para carcaças consecutivamente abatidas. As principais saídas do modelo são as mudanças de prevalência e concentração nas carcaças em função de procedimentos de inspeção. De acordo com a avaliação qualitativa de riscos os perigos *Toxoplasma gondii*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* sp., *Yersinia enterocolitica*, *Mycobacterium* sp. e *Clostridium botulinum* obtiveram maior risco para produtos como cortes suínos *in natura*, e produtos processados *in natura*. Quando considerados produtos processados cozidos, os mesmos perigos descritos anteriormente obtiveram risco alto, acompanhados de Ocratoxina A e *Staphylococcus* sp. e, ainda, quando considerados os produtos fermentados o *Clostridium perfringens* figura dentre os perigos mais relevantes juntamente com os perigos já citados à exceção da Ocratoxina A. O modelo de contaminação cruzada mostrou que, devido aos processos de inspeção, a prevalência de carcaças contaminadas por *Salmonella* sp. cresceu mais de 90 pontos percentuais com redução na concentração média de contaminação. A priorização de

perigos mostra que há certa distância entre o perfil de perigos na cadeia de produção industrial e os métodos empregados na inspeção. Juntamente a isto, uma maior discussão envolvendo os gestores do risco deve levar em conta as necessidades e a percepção de riscos, sem descartar novos estudos para esclarecer possíveis pontos antes da tomada de decisão. Em relação ao modelo quantitativo de contaminação de carcaças, os resultados chamam atenção para a possibilidade de amplificação da contaminação cruzada em realidades em que um grande número de animais portadores de *Salmonella* sp. e com uma grande carga de contaminação nos linfonodos são introduzidos e inspecionados na linha de abate. Desta forma conclui-se que os métodos de inspeção devem ser discutidos e que o modelo de contaminação cruzada pode ser uma ferramenta para modelar o efeito dos procedimentos de inspeção sobre a contaminação das carcaças suínas.

Palavras chave: Avaliação de riscos, carcaças de suínos, priorização de perigos, modelagem matemática, contaminação cruzada.

ABSTRACT

*Changes in Brazilian pork production chain resulted in a high sanitary status and intensification on the production mainly regarding to industrial herds which adhere to specific management, nutritional and biosecurity measures. Thus public health hazards have changed its profile as well such that classic zoonotic hazards have been found sporadically. In this context microbiological hazards became potentially important because of the complexity of their lifecycle and controlling in animal population. Despite of that, the services of carcass inspection, which has the principle aim of public health promotion, has following the changes in production chain discreetly, with the inspection service using physical examinations such as cuts and palpation in order to observe macroscopic lesions or parasites. Therefore this work aims to identify and prioritize hazards for public health by pork consumption and propose a quantitative model to assess the effect of the inspection procedures on the carcass contamination. Prioritization was assessed by a qualitative risk assessment model composed by hazard identification, release assessment, exposure assessment and consequences assessment, considering the process from the farm to the table. Cross-contamination model was done by a system of five difference equations describing the changes in hazards concentration over consecutives carcasses. The main outputs in this model are prevalences and concentration changings in function of the inspection procedures. According to prioritization model, *Toxoplasma gondii*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* sp., *Yersinia enterocolitica*, *Mycobacterium* sp. e *Clostridium botulinum* scored highest risk levels for products such as pork cuts and pork processed meat in natura. When considered cooked products, the same hazards described previously had highest risk level along with *Ochratoxin A* and *Staphylococcus* sp. and when considered fermented products *Clostridium perfringens* emerges as important hazard. The cross-contamination model has shown that due to inspection procedures the prevalence of contaminated carcasses has increased more than 90 percentage points with reduction on average concentration. The hazards prioritization shows some distance between the hazard profile on the pork production chain and the methods used to conduct the inspection of pig carcasses. Along with that, a large discussion involving risk managers should keep in mind the needs and risk perception without dismiss further studies to clarify some issues before the decision make. Regarding the quantitative model the results highlight the possibility of hazards spreading by cross-contamination during the*

inspection, especially when a large number of animals harboring Salmonella in their lymph nodes are expected. In this way it is concluded that the inspection procedures should be discussed and the model of cross-contamination can be a tool to assess the effect on carcass inspection on the carcass contamination.

Keywords: *Risk assessment, pig carcass, hazards prioritization, mathematical modeling, cross-contamination*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo de inspeção de carcaças de suínos realizadas pelo Serviço Federal de Inspeção (SIF) no Brasil.....	22
Figura 1 (ARTIGO 1) - Árvore de decisões utilizada para a avaliação de relevância dos perigos à saúde pública relacionados pelo consumo de carne suína e derivados. Os perigos devem responder sim ao fim da árvore para serem considerados relevantes.....	50
Figura 2 (ARTIGO 1) - Sub-árvore de decisões utilizada para a introdução dos perigos no abate ou processamento.....	50
Figura 3 (ARTIGO 1) - Caminho dos alimentos da granja até a exposição do consumidor. Considerando os produtos cozidos ou fermentados não há cocção doméstica. Por outro lado quando os cortes suínos e as linguças frescas são modeladas há cocção doméstica.....	51
Figura 4 (ARTIGO 1) - Resultado da identificação de perigos via revisão sistemática de literatura.....	51
Figura 5 (ARTIGO 1) - Resultados das avaliações de presença e consequência e caracterização de riscos para cada perigo por meio do consumo de cortes suínos <i>in natura</i> ou frescas.....	52
Figura 6 (ARTIGO 1) - Resultados das avaliações de presença, consequência e caracterização de riscos para cada perigo por meio do consumo de produtos processados <i>in natura</i> ou frescas.....	53
Figura 7 (ARTIGO 1) - Resultados das avaliações de presença e consequência e caracterização de riscos para cada perigo por meio do consumo de produtos processados cozidos.....	54
Figura 8 (ARTIGO 1) - Resultados das avaliações de presença e consequência e caracterização de riscos para cada perigo por meio do consumo de produtos processados fermentados.....	55
Figura 1 (ARTIGO 2) - Schematic representation of the pig carcass inspection. Consecutive carcasses pass through the point of inspection and get in contact with the environmental components, which can lead to cross-contamination via bacterial transfer from the environment to the carcass (arrow a) or from the carcass to the environment (arrow b). The arrows d represent the reduction in the concentration of the bacteria due to inactivation or removal.....	95
Figura 2 (ARTIGO 2) - Distribution of mean carcasses surface contamination (logCFU/cm ²) before and after inspection with 100 (a) and 500 (b) carcasses.....	96
Figura 3 (ARTIGO 2) - Mean of the means (μ) logCFU/cm ² in in function of different f values regarding the variables mean [Ci(S- 1)], standard deviation of Ci(S-1), Prev Oi (S-1) and maximum [Oi (S-1)].....	97

Figura 4 (ARTIGO 2) - Mean of the means (μ) logCFU/cm² as a function of different f values regarding the parameters (bln-h), (ah-ln) and (ah-c).....97

Figura 5 (ARTIGO 2) - Prevalence of carcass surface contamination as a function of different f values regarding the variable Prev Oi (S-1) and parameters (bln-h), (ah-ln) and (ah-c).....98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 (ARTIGO 1) - Modelo de interação entre as dimensões presença, consequências e exposição baseado em permutação com elementos repetidos para a caracterização dos níveis de risco.....	47
Tabela 2 (ARTIGO 1) - Efeito quantitativo de cada um dos processos básicos atribuídos à cadeia de produção sobre a prevalência e concentração dos perigos nos produtos derivados de carne suína.....	56
Tabela 3 (ARTIGO 1) - Matriz utilizada nas interações entre as diferentes etapas do processo e das dimensões de prevalência e concentração para a construção da avaliação de presença.....	56
Tabela 1 (ARTIGO 2) - Overview of model variables (eq. 1): Each variable describes a quantity that is changing for consecutive carcasses (with rank number i) and over the process steps S-1 (before) or S (after inspection). Values before inspection are sampled from the indicated distributions and values after inspection are calculated by the model.....	64
Tabela 2 (ARTIGO 2) - Parameters used to illustrate the dynamics of the model. The indices Ae and Ac will be substituted here by the initials of environment compartment and carcass compartments respectively	68
Tabela 3 (ARTIGO 2) - Outputs for inspected areas of carcass surface and lymph nodes before and after inspection procedures in model simulations with 500 and 100 carcasses. The mean (μ) and standard deviation (σ) are those of the mean values for the contaminated inspected carcass areas among the 500 or 100 simulated carcasses; the prevalence is the mean prevalence after 10000 iterations.....	71
Tabela 4 (ARTIGO 2) - Scenarios used in multivariate analyses to test the effect of different variables combination on mean of the means (μ) logCFU/cm ² its standard deviation (σ) and mean prevalence of contaminated carcass surface before and after inspection.....	74
Tabela 5 (ARTIGO 2) - Appendix A. Values used in the empirical distribution that is applied to sample the number of interactions between carcass/organ with hands, knife and hook. Probabilities in columns sum up to 1.....	88
Tabela 6 (ARTIGO 2) - Appendix D. Parameters, baseline, minimum and maximum values used during the univariate sensitivities analyses. See table III for an explanation of the parameter symbols.....	91
Tabela 7 (ARTIGO 2) - Appendix E. Parameter values for scenarios used in multivariate sensitivities analyses. The scenarios: no transfer and no contamination were omitted.....	93

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 História e evolução da suinocultura no Brasil.....	16
2.2 Sanidade dos rebanhos Brasileiros.....	17
2.3 Inspeção de carcaças.....	19
2.4 Procedimentos de Inspeção no abate de suínos no Brasil.....	21
2.5 Inspeção direcionada ao risco.....	23
2.6 Avaliação de riscos como ferramenta para tomada de decisões.....	25
2.7 Modelos dinâmicos estocásticos na descrição de fenômenos biológicos.....	26
3 ARTIGO 1: AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE RISCOS PARA A PRIORIZAÇÃO DE PERIGOS BIOLÓGICOS EM CARCAÇAS SUÍNAS E ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE INSPEÇÃO BRASILEIRO.....	29
4 ARTIGO 2: A STOCHASTIC MODEL TO ASSESS THE EFFECT OF MEAT INSPECTION PRACTICES ON THE CONTAMINATION OF THE PIG CARCASSES.....	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERÊNCIAS.....	101

1 INTRODUÇÃO

O objetivo geral da inspeção de carnes é promover a saúde pública e animal prevenindo, detectando e controlando perigos originados dos animais. De acordo com a Organização Internacional para a Saúde Animal (OIE), as atividades frigoríficas e, por conseguinte, o serviço de inspeção de produtos de origem animal tem um papel fundamental no que diz respeito à produção de alimentos seguros e controle de zoonoses (OIE, 2015).

Embora o reconhecimento dos animais como fonte de patógenos para seres humanos não seja novo, havendo relatos pré-históricos acerca desta associação, a sistematização de procedimentos dedicados à inspeção sanitária de carcaças animais foi desenvolvida na Europa, no ano de 1900, pelo veterinário Alemão Robert Von Ostertag. Estes procedimentos são descritos como exames de palpação e corte de músculos, e órgãos como rins, coração, pulmões e linfonodos com o intuito de verificar a presença de evidências macroscópicas de lesões típicas das clássicas zoonoses (VON OSTERTAG, 1900). À luz da época, estes procedimentos tiveram um importante papel no controle de doenças zoonóticas, visto a baixa estruturação das cadeias produtivas de produtos de origem animal (EDWARDS, 1997).

Em relação ao Brasil, a criação de suínos teve início por volta de 1532, sendo que até a metade do século XX tinha um perfil de duplo propósito, a produção de carne e banha, sendo esta última a principal atividade suinícola. Desta forma a produção se organizou, até a década de 70, como uma atividade de baixa tecnificação (MORAES e CAPANEMA, 2012). Embora a produção suína ainda estivesse em caráter praticamente de subsistência, o Serviço de Inspeção Federal, em 1952 publica o decreto lei 30691, conhecido como o Regulamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Este regulamento converge com o modelo proposto por Von Ostertag no início daquele século, vindo ao encontro das demandas impostas pela baixa estrutura sanitária dos rebanhos Brasileiros.

Com os programas de modernização da agropecuária nacional nos anos 70 se deu início ao processo de industrialização da agropecuária Brasileira, importação de genética, capacitação profissional e a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (DELGADO, 2009). Com isso, a produção primária, especialmente relacionada a rebanhos abatidos sob Inspeção Federal, passou por

mudanças estruturais com aumento de escala, especialização e tendências relacionadas à crescente integração com a estrutura industrial de abate e processamento (LIMA, 2013).

Ainda que haja escassez de informações acerca da evolução temporal do perfil da suinocultura nacional, acredita-se que a produção seja heterogênea, havendo uma variedade de estruturas organizacionais que podem coordenar a transferência de produtos ao longo de uma cadeia produtiva dividindo-se, principalmente, em dois núcleos: os produtores independentes e os que seguem um regime contratual seja ele verticalizado ou não, sendo este último ligado a grandes corporações agroindustriais (MIELE e WAQUIL, 2007).

Estas mudanças levaram a um cenário agropecuário pujante, sendo que a pecuária brasileira se destaca em todo o mundo, tendo um dos maiores rebanhos de bovinos tanto de leite quanto de corte, aves e suínos. O censo agropecuário de 2012 mostrou que 49,5% dos mais de 38 milhões de suínos do rebanho nacional estavam na região Sul do país (IBGE, 2012). Quanto aos produtos de origem animal, registraram-se aumentos na produção no ano de 2011 em comparação a 2010 (IBGE, 2011). A produção de carne suína tem um crescimento projetado de 1,9% ao ano, atendendo assim ao consumo doméstico e às exportações. Essas taxas correspondem ao acréscimo de 20,6% na produção de carne suína, entre 2013 e 2023 (BRASIL, 2013).

As mudanças da estrutura corporativa e do caráter técnico da produção de suínos levaram a mudanças no perfil sanitário dos rebanhos Brasileiros. No passado, as doenças parasitárias eram as mais importantes, somadas àquelas que produziam lesões macroscópicas. Em um relato de 1952, cerca de 5% das carcaças de suínos abatidos no Sistema de Inspeção Federal (SIF) estavam infestadas por cisticercose (PARDI, DUARTE e ROCHA, 1952). Um relato mais recente mostra que não foram encontradas lesões de cisticercose em suínos abatidos em um frigorífico sob inspeção federal no ano de 2006 (FALAVIGNA-GUILHERME et al., 2006). De acordo com Alberton e Mores (2008) os micro-organismos relacionados com as lesões macroscópicas, comumente observadas na inspeção *post mortem*, são perigos que podem não representar risco zoonótico, sendo resultado de doenças dos suínos e “tecnopatias”.

Por outro lado, a contaminação da carne por perigos como bactérias causadoras de doenças transmitidas por alimentos (DTAs), que fogem da competência do exame macroscópico, uma vez que dependem de pesquisa laboratorial para sua detecção, representa uma preocupação crescente na suinocultura. De acordo com o Ministério da

Saúde, considerando apenas *Salmonella* sp., no período de dez anos, compreendido entre os anos de 2001 a 2011, cerca de 5% dos surtos de salmonelose humana, registrados no Brasil, foram relacionados com o consumo de carne suína e ou seus derivados (BRASIL, 2011).

Com isso o sistema de inspeção deveria considerar a realidade epidemiológica dos sistemas de criação de suínos, no intuito de utilizar a melhor evidência técnica, baseando-se no conceito de risco, para direcionar as ações em saúde pública. Levando em conta a realidade Europeia, a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) identificou como perigos prioritários na cadeia de produção e suínos: *Salmonella* spp., *Yersinia enterocolitica*, *Toxoplasma gondii* e *Trichinella* spp. (EFSA, 2011). Na Europa, desde 2014, de acordo com o regulamento EC 219/2014 a inspeção de carcaças suínas é apenas visual para rebanhos criados sob sistemas integrados, realizando incisão e palpação apenas quando lesões são encontradas após a inspeção visual. De acordo com Hill et al. (2013) a modernização do serviço de inspeção no sentido de inspeções visuais não representa um aumento de risco em relação à tuberculose por consumo de suínos na Inglaterra, embora tanto Hill et al. (2013) quanto Ravel et al. (2009) identificam que há uma falha no conhecimento acerca do papel do sistema tradicional de inspeção na contaminação de carcaças suínas.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo geral priorizar os perigos biológicos na cadeia de produção intensiva de suínos no Brasil, bem como propor um modelo matemático para avaliar do impacto dos procedimentos clássicos de inspeção acerca da contaminação de carcaças suínas. Estas atividades correspondem ao terceiro plano de ação (PA3) contido no Macroprojeto 2: “Revisão e modernização dos procedimentos de inspeção *ante e post mortem*” (EMBRAPA, 2016), coordenado pelo Centro Nacional de Pesquisa em Suínos e Aves (CNPSA) da Embrapa em parceria com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História e evolução da suinocultura no Brasil

A introdução de animais da espécie *Sus scrofa* (suíno) no Brasil data do século XVI, sendo que os primeiros relatos ocorreram no ano de 1532, quando os suínos foram introduzidos no Brasil por Martim Afonso de Sousa na então vila de São Vicente, atual cidade de mesmo nome situada no litoral norte paulista (SARCINELLI et al., 2007). Embora haja escassez de informações acerca do memorial histórico da suinocultura nacional, acredita-se que até meados da década de 80, já no século XIX, esta atividade permaneceu sem qualquer caráter industrial (PASQUETTI, 2010).

Esta mudança ocorre juntamente com o fluxo de imigrantes Italianos e Alemães, habituados ao consumo de produtos de origem suína. Dentre estes imigrantes deve ser dado destaque a um imigrante Italiano, Francesco Matarazzo, que em 1881 chegou ao Brasil em busca de melhores condições de vida. Sabendo do baixo nível tecnológico agroindustrial do país, Matarazzo traz consigo uma carga de banha de porco que, infelizmente, acaba sendo perdida. Entretanto, isso não o impediu de em 1890 fundar nos municípios de Sorocaba e Porto Alegre as primeiras fábricas de banha do país (RODRIGUES e VILELA, 2013).

Nas primeiras décadas do século XX, o propósito da suinocultura fora baseado no fornecimento, principalmente, de gordura animal. Entre os anos 30-40 surgiram, no Estado de Santa Catarina, as empresas que vieram a se tornar as pioneiras da industrialização da suinocultura no país, atuando, naquele momento, principalmente no comércio de banha e embutidos (SARASSA e ENGEL, 2013). Este panorama começou a se alterar a partir de 1950, década em que há o início da industrialização no país. Nos anos 70 tem-se início os programas de modernização da agropecuária nacional, inclusive com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Neste contexto ocorreu a introdução e difusão dos óleos vegetais, assimilados como mais saudáveis pela população, o início das importações e estudos em relação ao melhoramento genético de suínos com o intuito de obter linhagens destinadas à exploração de carne magra (DELGADO, 2009).

Desde então, a característica da produção suína tem convergido para um nível elevado de tecnificação, tanto em nível industrial, quanto pecuário. De acordo com Miele et al. (2011) desde 1975 até 2011 pode-se diferenciar dois tipos distintos de organizações empresariais envolvidas com a suinocultura. A primeira se refere a líderes de mercado, sendo a base dos rebanhos suínos considerados industriais. A segunda se refere a empresas pequenas com foco no comércio local ou regional. Por meio do Levantamento Sistemático da Produção e Abate de Suínos: 2006 e 2007, publicado pela Embrapa, observa-se que nos estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste, no ano de 2008, havia cerca de 1.500.000 matrizes alojadas e foram produzidas mais de 2.700 mil toneladas de carne em sistema intensivo de criação, em sua maioria sob sistemas de integração. Para o mesmo ano, o número de matrizes de subsistência fora de aproximadamente 883 mil, sendo que cerca de 330 mil toneladas de carne foram produzidas (MIELE e MACHADO, 2007).

Com o estabelecimento do caráter industrial da atividade suinícola, houve esforços para aumentar a competitividade e maximizar os lucros. Estas transformações passaram necessariamente por alterações na forma da criação dos animais. Entre os anos 80 e 90 predominava o sistema de criação de ciclo completo em confinamento (sistema em que os animais permanecem na mesma propriedade desde o nascimento até o pré-abate). Mais recentemente, houve um intenso processo de especialização da produção, em que as atividades foram divididas em etapas bem definidas. Neste sentido, houve a tendência a abandonar o ciclo completo e adotar o sistema em sítios, ou seja, há uma granja especializada em produção de leitões (UPL), outra destinada a recria (crechário) e por fim uma destinada à engorda (terminação). Cada uma tem seus objetivos e metas bem delineados. A esse cenário mais moderno agregam-se avanços tecnológicos em genética, sanidade, nutrição, instalações, manejo e bem-estar animal (MIELE et al., 2011).

2.2 Sanidade dos rebanhos Brasileiros

O termo sistema intensivo de produção se refere a um conjunto de medidas destinadas a manter um bom estado de saúde e produtividade dos rebanhos. Em outras palavras, um alto nível de emprego de tecnologias na produção animal (tecnificação)

leva um sistema de produção a ser considerado intensivo (SOBESTIANSKY e BARCELLOS, 2001). De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), no ano de 2012 aproximadamente 95% da produção integrada de suínos do país se concentrava nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Dessas, mais de 60% encontra-se na região Sul do país, sendo que Santa Catarina responde por mais de 25%, Rio Grande do Sul por cerca de 19% e o Paraná por 17% (ABIPECS, 2013), (Atual Associação Brasileira de Proteína Animal).

O sistema de integração não representa tão somente o vínculo comercial entre empresas e produtores. Deve ser levado em conta o fato de que por meio dos contratos de sistema de integração, as empresas exercem o controle da origem de insumos (fábricas de ração e genética), assistência técnica, técnicas de manejo e abate, coordenando a cadeia produtiva, exigindo níveis mínimos de tecnificação, colocando seus rebanhos em uma classificação de intensivos (MIELE et al., 2011). Os mesmos autores argumentam que, por outro lado, nos sistemas independentes e de subsistência, não há o controle da empresa transformadora nos meios de produção animal, sendo que, desta forma, não há a garantia de níveis mínimos de emprego de tecnologias sobre a cadeia.

Esta diferença se reflete diretamente na saúde dos rebanhos e conseqüentemente na segurança dos alimentos. Em um trabalho publicado com base em rebanhos do estado de Pernambuco, d'Alencar et al. (2011) mostram que há diferenças marcantes no que diz respeito a estrutura e manejos higiênico sanitários entre granjas tecnificadas e de subsistência. Dentre as diferenças citadas, há nível de informação dos produtores, manejo nutricional, presença de veterinário, utilização e manejo estratégico de fármacos anti-helmínticos e variáveis relacionadas à estrutura das granjas. Em termos médios, os autores relatam que as granjas tecnificadas possuem manejos e instalações que diminuem o contato dos animais com a terra, restos de comida e contato com outros animais, interferindo no ciclo de algumas doenças, sendo a frequência de helmintoses gastrointestinais significativamente menor em relação às granjas de subsistência.

Nos estados da região Sul, a frequência de doenças ligadas à precariedade de saneamento e estrutura é baixa. Especificamente no Estado do Rio Grande do Sul, a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação relata que entre 2009 e 2010, dos cerca de 713 mil suínos abatidos sob a inspeção da Coordenadoria de Inspeção de Produtos de Origem animal (CISPOA) apenas 0,011% tinham cisticerco (DIEHL, 2011). No Estado

do Paraná, no ano de 2004, dos 1046 suínos abatidos em um pequeno frigorífico, nenhum apresentou cisticerco. Os autores discutem que, desde 1994 o estado em questão mantém um programa de controle de cisticercose suína, que somado ao sistema confinado e intensivo predominante na região, contribuíram para este resultado (FALAVIGNA-GUILHERME et al., 2006).

Por outro lado, relatos de perigos que não causam doença clínica ou lesões nas carcaças estão sendo cada vez mais frequentes no Brasil. Suarez-Aranda et al. (2000) reportaram uma soroprevalência de cerca de 9% de toxoplasmose em suínos abatidos no estado de São Paulo. Biasi et al. (2011) relatam que aproximadamente 19% das carcaças suínas analisadas foram positivas para *Campylobacter* sp. Em um estudo conduzido em três frigoríficos localizados no Estado de Santa Catarina, inspecionados pelo SIF, Pissetti et al. (2012) reportam o isolamento de *Salmonella* sp. em 27,4% e *Listeria monocytogenes* em 19,8% das carcaças no pré-resfriamento.

2.3 Inspeção de carcaças

Na história da humanidade, relatos acerca de restrições do consumo de carne podem ser encontrados em diversas civilizações antigas do oriente médio, onde era proibido o consumo de animais considerados impuros, incluindo o suíno (BORGEAUD, 2013). O mesmo se observa no Velho Testamento (Leviticus 11) e no Alcorão, em que alusão específica é dada a proibição do consumo de animais de casco fendido que não sejam ruminantes (KOLING, 2012; ALI, 2015). Embora não haja um consenso acerca das razões, historiadores tendem a creditar esta “regulamentação religiosa” ao conceito empírico da transmissão de triquinose pelo consumo de carne suína (USDA, 1990).

O entendimento da inspeção como uma investigação e julgamento de carcaças animais destinadas ao consumo humano ou não com base em critérios profissionais, começou a ser utilizada no mundo no final do século XIX para inspecionar carne bovina importada para a Europa. Neste momento, ainda não havia um aparato legal baseado em evidências técnicas, sendo que no início do século XX, o veterinário Alemão Robert Von Ostertag publicou o livro chamado *Lehrbuch für Fleischbeschauer*,

traduzido para o inglês como *The Meat Handbook*, que se trata de uma coletânea de informações acerca da produção animal e dos métodos de julgamento de carcaças utilizados na Alemanha (VON OSTERTAG, 1904).

Os métodos propostos por Ostertag se baseiam na palpação e incisão de carcaças e órgãos, sendo que a lista de patologias citadas no livro trata basicamente de parasitoses e agentes responsáveis por produzirem lesões macroscópicas e/ou sinais clínicos como Tuberculose, Erisipela e Peste Suína. Especificamente em relação a carcaças suínas, entre as páginas 159 e 160, o autor cita a necessidade de inspeção cuidadosa dos músculos abdominais, diafragmáticos e intercostais, mastigatórios e laríngeos em busca de cistos de cisticercose. Além disto, a inspeção de pele, em busca de eritemas e erupções, e todos os músculos visíveis em busca de hemorragias e lesões parasitárias são citadas.

Embora não haja uma definição internacional dos procedimentos de inspeção, sendo que cada país pode adotar os seus procedimentos específicos, a estrutura básica segue dois passos. Primeiramente a inspeção *ante-mortem* consistindo no exame clínico dos animais a serem abatidos, para a detecção de animais doentes e a inspeção *post-mortem* consistindo em exames patológicos para identificar potenciais perigos a saúde humana e animal (CAC/RCP, 2005). De acordo com Edwards et al. (1997) estes procedimentos foram úteis sendo que em países desenvolvidos, já nos anos 60, a transmissão de tuberculose via carne fora erradicada. Ainda, os autores afirmam que atrelado ao ganho sanitário obtido, outro fenômeno foi observado, a redução da probabilidade de identificação de lesões relevantes ao abate.

Apesar disto, estes métodos são ainda utilizados para a inspeção de carcaças suínas na maioria dos países, sendo que, Estados Unidos da América e Brasil, detentores de dois terços da exportação mundial de carne suína, (USDA, 2016) estão utilizando o sistema de inspeção física de carcaças (FSIS, 1906; BRASIL, 1952). Poucos sistemas de inspeção mudaram a metodologia e, em sua maioria, o fizeram para o atendimento de demandas de exportação (Lis Alban, comunicação pessoal). Dentre estes países está a Dinamarca, onde a inspeção de carcaças suínas ocorre de forma visual e quando anormalidades são encontradas, tanto as carcaças quanto suas vísceras, são desviadas para inspeção veterinária (ALBAN et al., 2009).

2.4 Procedimentos de Inspeção no abate de suínos no Brasil

De acordo com Pardi (1996), apenas nos anos 50 do século XX houve de fato a estruturação do serviço de inspeção veterinária Brasileiro nos moldes que conhecemos hoje. Neste sentido, ficou estabelecida a obrigatoriedade de inspeção veterinária a todos os produtos de origem animal, comestíveis ou não. Em especial o decreto 30691/1952 chamado de Regulamento Industrial de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), passa a ser o documento base para a legislação de todos os produtos de origem animal no País (BRASIL, 1952).

Entre os anos 70 e 80 o serviço de inspeção era totalmente realizado pelo Ministério da Agricultura, ou seja, este serviço ficava completamente a cargo da união. Em 1989, a Lei 7889/1989 desmembra o sistema de inspeção nos três níveis praticados até então: Federal, por meio do Sistema de Inspeção Federal (SIF), estadual, por meio dos Sistemas de Inspeção Estaduais (SIEs) e municipal, por meio dos Sistemas de Inspeção Municipais (SIMs) (BRASIL, 1989). Apesar de haver aparatos legais que garantam certa equivalência entre os três níveis do sistema de inspeção, de acordo com Oliveira (2008), durante o processo de descentralização da inspeção, os frigoríficos não aceitos pela rigorosa cobrança legal feita pelo SIF, foram acolhidos pelos SIMs e SIEs, que além de contar com uma estrutura mais precária, atende a interesses políticos locais, levando a uma inferioridade higiênica sanitária destes em relação àquele.

De acordo com o RIISPOA a inspeção de suínos se divide em *ante-mortem* e *post-mortem*. Primeiramente o regulamento dispõe de forma geral acerca da recepção e exame clínico dos lotes, bem como das regulamentações de abate, ou sangria. A etapa *post-mortem* é tratada de forma específica para cada espécie, sendo que entre os artigos 204 e 219 há as disposições acerca dos procedimentos de inspeção aplicáveis especificamente aos suínos. Os tópicos apresentam especificações sobre a destinação de carcaças e vísceras com lesões visíveis de sarna, cisticercose, enfisema cutâneo, estefanurose, icterícia, peste suína, sarcosporidiose, triquinose e escalda viva e ou excessiva. Entretanto, não há recomendações específicas acerca de cada linha de abate, bem como das lesões a serem observadas em cada uma delas.

Estas informações estão contidas na portaria 711 de 1995, onde estão descritas as oito linhas de inspeção a qual devem ser submetidas a carcaça ou vísceras: Linha “A1” – Inspeção de cabeça e nodos linfáticos da “papada”; Linha “A” – Inspeção do

útero; Linha “B” – Inspeção de intestinos, estômago, baço, pâncreas e bexiga; Linha “C” – Inspeção de coração e língua; Linha “D” – Inspeção de fígado e pulmão; Linha “E” – Inspeção de carcaça; Linha “F” – Inspeção de rins; Linha “G” – Inspeção de cérebro e por fim o DIF – Departamento de Inspeção Final (Figura 1). Ainda, o esquema oficial de trabalho nas "linhas de inspeção" contém as especificações e procedimentos de inspeção em cada ponto (linha) (BRASIL, 1995).

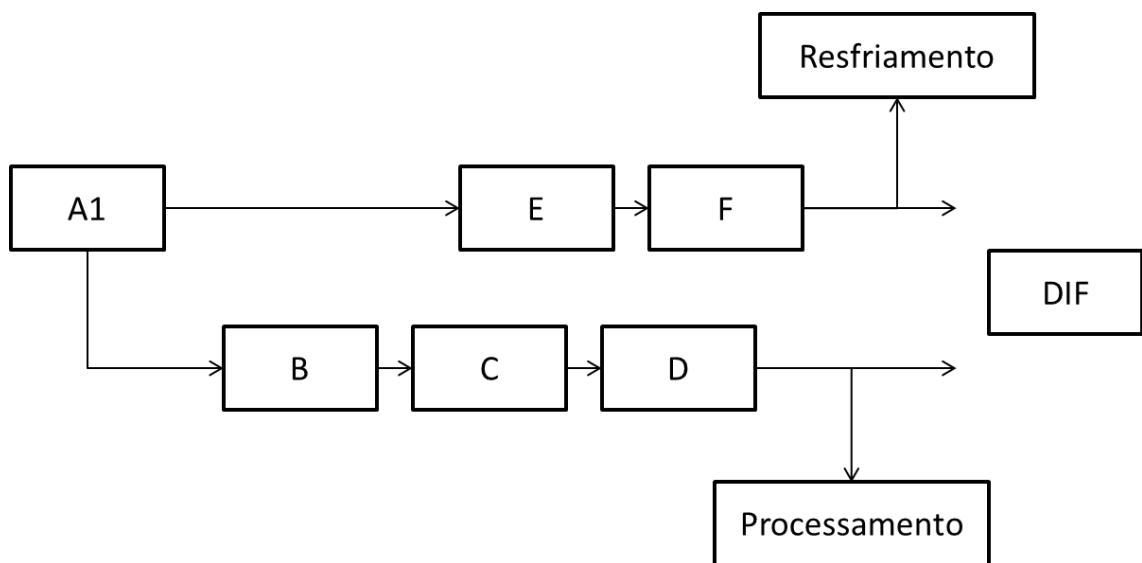


Figura 1 – Fluxo de inspeção de carcaças de suínos realizadas pelo Serviço Federal de Inspeção (SIF) no Brasil. A1= Inspeção de cabeça e papada; B= Inspeção de intestinos, estômago, baço, pâncreas e bexiga; C= Inspeção de coração e língua; D= Inspeção de fígado e pulmão; E= Inspeção de carcaça; F= Inspeção de rins; DIF= Departamento de Inspeção Final. Os pontos de inspeção A e G estão omitidos do fluxo de inspeção.

De acordo com a portaria em questão, a Linha A1 se destina a observação de sarcosporidiose, cisticercose e lesões em linfonodos, sendo que, para tanto, são empregados exames de incisão dos masseteres e da musculatura da papada. As linhas B, C e D se destinam à inspeção de vísceras brancas e vermelhas, sendo intensa a manipulação e incisão em busca de lesões parasitárias, alterações em linfonodos regionais como os mesentéricos e mediastínicos e possíveis contaminações visíveis a olho nu. Na linha E são referidos exames visuais na carcaça em busca de contusões, abscessos, contaminações, edemas e alterações de cor, bem como exames incisionais em linfonodos Inguinal Superior, Ilíacos anteriores e Ilíacos posteriores. Na linha F,

destinada à inspeção dos rins, há exames visuais, palpação e incisões, tanto nos rins, quanto na gordura peri-renal. Estes exames buscam lesões sugestivas de nefrite, infarto anêmico, estefanurose, quisto urinário e congestão (BRASIL, 1995).

2.5 Inspeção direcionada ao risco

A modernização do sistema de inspeção tem sido discutida na Europa, sendo que desde 2004 o regulamento EC 854/2004 permite um modelo de inspeção baseado apenas no exame visual de carcaças de animais criados sob sistemas confinados, seguindo o conceito de *Food Chain Information* (FCI) em que há o controle de informações em todo o processo produtivo. Com isto, o conceito de inspeção muda para o conceito de controle integrado da cadeia de produção.

Também, desde 2008, o *Codex Alimentarius* vem alertando os países sobre a necessidade de adequação dos sistemas de inspeção frente à mudança no perfil de perigos relacionados a infecções alimentares no mundo (CAC, 2009). Em especial, o conceito de inspeção direcionada ou baseada em risco usa informações relevantes acerca das características da produção para priorizar os perigos e as ações a serem tomadas para um dado objetivo (API, 2002), sendo este conceito aplicado, inclusive, à saúde humana, animal ou ambas.

O EFSA avaliou a efetividade do sistema de inspeção tradicional na redução do risco de contração de infecções alimentares pelo consumo de carne suína. Neste sentido, os procedimentos de inspeção não reduzem o risco para perigos como *Salmonella* sp., *Escherichia coli*, *Toxoplasma*, *Campylobacter* entre outros. Para *Mycobacterium* sp. foi considerado questionável, alguma redução para *T. solium* e cisticercose, sendo efetivo apenas para *Trichinella* sp. Neste mesmo documento, por meio de um modelo de avaliação de riscos, foram ranqueados os perigos em relação à saúde pública. *Salmonella* sp. foi classificada como perigo de alta relevância, *Toxoplasma* sp., *Yersinia enterocolitica* e *Trichinella* sp. foram classificados como perigos de relevância intermediária. Desta forma, observa-se que o sistema de inspeção Europeu se encontrava, naquele momento, ineficiente frente a importantes perigos microbiológicos relacionados com infecções alimentares (EFSA, 2011).

Nos Estados Unidos da América, o relatório do *Public Health Risk-Based Inspection System*, sugere que seja ampliado o foco no processo, em detrimento ao perfil restrito à observação de lesões. Desta forma, o serviço de inspeção se baseia em programas de avaliação de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) e na implementação de procedimentos operacionais padrão (POP) (FSIS, 2008). De acordo com Hiller et al. (2012), um conceito de inspeção baseado em controle sanitário dos rebanhos suínos por meio de programas de monitoramento poderia evitar a manipulação das carcaças e, conseqüentemente, reduzir a contaminação por *Salmonella* sp.

Por meio de uma avaliação qualitativa de riscos e benefícios Hill et al. (2013) compararam os riscos à saúde pública em respeito à inspeção visual de suínos criados tanto em sistema confinado quanto do tipo "plein air" (criados soltos) na Inglaterra. Os autores concluem que o risco em respeito à mudança para o sistema visual de inspeção pode ser considerado negligenciável. Com uma metodologia similar, Ravel et al. (2009) concluem que a substituição do sistema tradicional pelo sistema visual adotado no Canadá não afeta os riscos relacionados ao consumo de carne suína e há ainda a possibilidade de redução para alguns perigos. Embora tanto Hill et al. (2013) quanto Ravel et al. (2009) concluam que a mudança para a inspeção no sentido de visual não afete a saúde pública, ambos referem que há uma deficiência de informações acerca do impacto dos procedimentos tradicionais de inspeção sobre a contaminação cruzada, sendo que esta não fora descrita até então.

Em relação ao Brasil, o sistema tradicional de inspeção fora desenhado em uma realidade onde havia a necessidade de manipulação das carcaças, a ponto de facilitar a identificação visual das lesões macroscópicas. Neste contexto pode-se considerar que a forma de condução da inspeção em carcaças suínas era baseada nas evidências relacionadas à relevância de parasitos e zoonoses clássicas visto que a transmissão e manutenção de perigos como *Taenia solium* e *Trichinella spiralis* estão ligados, principalmente, a condições de deficiência de saneamento, falhas de estrutura e procedimentos de biossegurança (SCHWARZ et al., 2002; GANC et al., 2006; VALENÇA et al., 2011).

Entretanto, os procedimentos de inspeção não acompanharam a mudança de estrutura sanitária dos rebanhos, sendo que, neste sentido, há a necessidade de atualização das evidências que norteiam a atividade de inspeção de carcaças de suínos no Brasil. Um exemplo é a emergência de perigos microbiológicos como *Salmonella* sp.

que possuem o ciclo de transmissão complexo envolvendo desde o campo, em que as infecções podem se amplificar, até o frigorífico (KICH et al., 2011) onde ocorrem contaminações cruzadas frequentes entre carcaças e o ambiente (BOTTELDOORN et al., 2003). Sendo assim, o controle destes perigos foge das observações de lesões, sendo baseado nas diferentes etapas do processo e traz para a realidade da indústria de carnes os conceitos de controle estatístico de processo e utilização de ferramentas de tomada de decisão baseadas em risco (ALBAN e STARK, 2005).

2.6 Avaliação de riscos como ferramenta para tomada de decisões

Inúmeras ferramentas de gestão de controle de qualidade têm sido propostas e utilizadas em diferentes áreas, como as cartas de controle de processo em engenharias (MONTGOMERY, 2012), e análise de modo e efeito de falhas na indústria farmacêutica (BARENDS et al., 2012). A complexidade da produção de alimentos, envolvendo desde a produção primária, processamento até o consumidor, traz à tona a necessidade de uma ferramenta que ofereça aos pares envolvidos uma maneira de modelar as diferentes etapas do processo garantindo, ao mesmo tempo, transparência à análise.

A avaliação dos riscos (AR) é uma parte do processo de análise de risco, sendo usualmente referida entre a gestão dos riscos e a comunicação dos riscos. Dentro do contexto de segurança dos alimentos, a AR pode ser definida como um processo de coleta e considerações, de base científica, dos efeitos adversos, conhecidos ou potenciais, resultantes da exposição aos perigos presentes nos alimentos (FAO/WHO, 2011). Com isso uma das principais características da metodologia em questão é a transparência aos pares envolvidos possibilitando o entendimento das etapas envolvidas na avaliação.

Especificamente relacionado à Medicina Veterinária podemos citar as avaliações de risco em alimentos seguindo as definições da Comissão do *Codex Alimentarius* (CAC) e para a saúde animal as avaliações de risco em saúde animal, seguindo as definições da Organização Internacional para a Saúde Animal (OIE). Genericamente, ambos se referem à avaliação de ocorrência de um determinado efeito adverso e suas consequências, entretanto, diferenças podem ser observadas em relação às estruturas das avaliações (EFSA, 2012).

Pelo caráter mais voltado para comércio internacional, o modelo proposto pela OIE segue as seguintes etapas: Identificação dos perigos, avaliação de entrada, avaliação de exposição, probabilidade de ocorrência, avaliação das consequências e estimação dos riscos, abrangendo mais a introdução de doenças em saúde animal em uma região ou país (DUFOUR et al., 2011). Por outro lado o CAC adota uma metodologia que se baseia mais em saúde humana, seguindo os passos de identificação do perigo, caracterização do perigo, avaliação de exposição e por fim a caracterização dos riscos (CAC/GL 63, 2007).

Em ambos os modelos a identificação dos perigos é a primeira etapa sendo de extrema importância para o processo. De acordo com Menéndez González et al. (2011) os perigos a serem considerados em qualquer avaliação de riscos devem ser elencados com base em um perfil de risco em uma dada população, com isso são respeitados aspectos biológicos e populacionais relevantes. Uma ferramenta que proporciona aos analistas de risco a capacidade de recuperação de evidências técnicas é a revisão sistemática. Classicamente ela tem sido utilizada como suporte nos estudos de meta-análise, visto a necessidade de revisões independentes do viés ou julgamento do revisor (RODRIGUES e ZIEGELMANN, 2010), necessidade esta também presente nas avaliações de riscos.

Esta técnica consiste em um protocolo rigoroso e possível de replicação para identificar, avaliar e sumarizar evidências científicas, ou seja, provém aos analistas as evidências disponíveis no momento. Exemplos de protocolos de revisão sistemática podem ser encontrados principalmente em estudos na área de epidemiologia clínica (HIGGINS e GREEN, 2008). Especificamente em relação à Medicina Veterinária, Sargeant et al. (2006) propuseram protocolos mais estruturados e recentemente foi publicado um protocolo geral de Revisão Sistemática para Medicina Veterinária (SARGEANT e O'CONNOR, 2014).

2.7 Modelos dinâmicos estocásticos na descrição de fenômenos biológicos

A descrição verbal e explicação de fenômenos com base em observações pode prover aos gestores do processo uma noção geral do funcionamento de determinado sistema e, em alguns casos, um grau de entendimento suficiente para a resolução de problemas mais diretos (MARGALOT, 2007). Entretanto, por vezes os sistemas

envolvendo a interface biológica acabam por integrar dimensões não passíveis de eliminação durante a conceituação do fenômeno, tornando a gestão do processo uma questão desafiadora. Ainda, as dimensões inerentes de dado sistema podem trazer consigo incertezas necessárias para o entendimento do fenômeno e, desta forma, a abordagem descritiva/observacional se torna um limitante acerca da percepção sobre a importância das etapas de produção e das intervenções em cada uma delas dentro do processo (BRISSON e EDMUNDS, 2006; BROWN et al., 2015).

Modelos matemáticos dinâmicos ou sistemas dinâmicos, em uma conceituação mais formal, se referem à formalização matemática da descrição de um fenômeno encadeado no tempo ou com uma sequência dependente ainda que não diretamente relacionada com o tempo (TOMLIN e AXELROD, 2007). Usualmente, quando diretamente relacionadas com o tempo, os modelos dinâmicos são baseados em equações diferenciais (sistemas contínuos), descrevendo a variação do fenômeno em função do tempo e das demais variáveis de relevância. Por outro lado, quando os sistemas dinâmicos são modelados com o tempo discreto mas ainda sim se assume dependência entre os passos sequenciais que descrevem o fenômeno estudado, a modelagem se baseia em equações de diferenças ou sistemas de equações de diferenças (MURRAY, 2002).

A modelagem dinâmica pode trabalhar em sinergismo com a modelagem estocástica, ou seja, as variáveis consideradas como relevantes para o entendimento do processo podem ser descritas por distribuições de probabilidade, agregando ao modelo não só um caráter mais realístico, como também aumentando a capacidade de extração de informações quantitativas probabilísticas em função das incertezas, permitindo não só um maior entendimento do fenômeno estudado, mas também maior entendimento da importância de cada dimensão e o impacto de possíveis intervenções ao final do processo (BRITTON, 2010).

Um exemplo de modelagem dinâmica estocástica de processos que envolvam a interface biológica/industrial pode ser visto em Nauta et al. (2005) em que os autores modelam a contaminação de carcaças de frango por *Campylobacter* sp. durante as consecutivas etapas do processamento industrial. Os autores relatam que ao incluir o caráter mecânico no modelo a relação log-linear, observada em modelagens anteriores, parece não ser realística e que o conhecimento das incertezas acerca da carga bacteriana entrando no frigorífico com as aves é importante no processo. Por fim, os autores

concluem que, por meio da utilização de modelagem dinâmica estocástica, pode-se observar um pequeno efeito benéfico da organização da logística de abate na contaminação cruzada por *Campylobacter* sp. em carcaças de frango.

Recentemente Swart et al. (2016) propuseram um modelo para descrever a concentração de *Salmonella* sp. durante diferentes etapas do abate de suínos. O modelo em questão descreve a passagem sucessiva de diferentes carcaças pelas etapas de abate e processamento além da incorporação da variação entre diferentes carcaças e frigoríficos por meio de simulação de Monte Carlo. Com isso os autores concluem que a ferramenta desenvolvida por eles é especialmente plausível para avaliar o efeito de diferentes intervenções sobre o processo.

Apesar da utilidade da modelagem dinâmica, em especial dos resultados obtidos considerando as incertezas, algum grau de ceticismo pode ser levantado acerca do uso da descrição de fenômenos naturais por meios de modelos matemáticos (DE JONG, 1995). Especificamente em epidemiologia, Stille and Gersten, (1978) criticaram a modelagem matemática classificando-a como uma tautologia matemática em que as conclusões são nada mais que meras consequências das premissas. De Jong (1995), argumenta que de fato há um caráter tautológico na modelagem, entretanto, as tautologias podem ser de extrema importância na ciência, auxiliando inclusive a formulações de hipóteses.

3 ARTIGO 1 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE RISCOS PARA A PRIORIZAÇÃO DE PERIGOS BIOLÓGICOS EM CARCAÇAS SUÍNAS E ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE INSPEÇÃO BRASILEIRO¹

¹Artigo a ser submetido à revista científica Cadernos de Saúde Pública (*Reports in Public Health*). A formatação do artigo segue as normas da revista em questão. Este estudo relata a utilização de uma avaliação qualitativa de riscos para priorização de perigos biológicos na cadeia de produção de suínos.

Avaliação qualitativa de riscos para a priorização de perigos biológicos em carcaças suínas e adequação do sistema de inspeção Brasileiro

Eduardo de Freitas Costa^{*1}, Jalusa Deon Kich², Marisa Ribeiro de Itapema Cardoso³, Luis Gustavo Corbellini¹

RESUMO

O crescente nível de tecnificação da suinocultura industrial brasileira elevou o status sanitários dos rebanhos comerciais, reduzindo as infestações parasitárias. Apesar das evoluções da cadeia de produção de carne suína o sistema de inspeção de carcaças, no Brasil, ainda se baseia em exames físicos, como incisões e palpções no intuito de verificar lesões macroscópicas típicas de infestações parasitárias e zoonoses clássicas. Assim, as técnicas utilizadas pelo serviço de inspeção podem não estar adequadas à realidade epidemiológica. Desta forma este trabalho teve como objetivos estimar e priorizar os riscos relacionados a diferentes perigos biológicos à saúde pública por meio de consumo de carne suína. Os riscos foram estimados por meio de uma avaliação qualitativa de riscos composta de identificação de perigos, avaliação de presença, avaliação de exposição e avaliação de consequências, considerando desde a produção primária até o consumo. *Toxoplasma gondii*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* sp., *Yersinia enterocolitica*, *Mycobacterium* sp. e *Clostridium botulinum* obtiveram maior risco para cortes suínos e produtos processados *in natura*. Quando considerados produtos processados cozidos, os mesmos perigos descritos anteriormente obtiveram risco alto, acompanhados de Ocratoxina A e *Staphylococcus* sp. Quando considerados os produtos fermentados o *Clostridium perfringens* figura dentre os perigos mais relevantes. Desta forma há uma distância entre o perfil de perigos na cadeia de produção

industrial e os métodos empregados na inspeção. Conclui-se que os métodos de inspeção devem ser discutidos baseando-se em critérios de risco.

Palavras-chave: Análise de risco, suínos, priorização, sistema de inspeção, carcaças

INTRODUÇÃO

O principal objetivo do serviço de inspeção de carcaças é promover a saúde pública e animal por meio de procedimentos de controle e detecção de patógenos¹. No Brasil, os procedimentos de inspeção *post-mortem*, aplicados a carcaças suínas, se baseiam em exames físicos (incisões e palpções) e visuais, tanto das carcaças quanto dos órgãos, com o intuito de identificar potenciais perigos à saúde humana ou animal, pela procura de lesões macroscópicas típicas de zoonoses clássicas^{2,3}. Neste contexto pode-se considerar que a forma de condução da inspeção em carcaças suínas é baseada nas evidências relacionadas à relevância de parasitos e zoonoses clássicas cuja transmissão e manutenção estão ligados, principalmente, a condições de deficiência de saneamento, falhas de estrutura e procedimentos de biossegurança^{4,5}.

Estima-se que até o ano de 2007 mais de 60% da produção brasileira de suínos poderia ser considerada como industrial, seguindo um sistema de integração intensivo em que os meios de produção estão sob o controle de uma organização corporativa que garante os níveis mínimos de emprego de tecnologias e, sob o ponto de vista de sanidade dos rebanhos, aumento nos padrões de exigências sanitárias⁶. Esta caracterização estrutural trouxe mudanças no perfil epidemiológico dos rebanhos considerados industriais. Em um estudo datado de 2006, não foram encontradas carcaças com cisticercos no Estado do Paraná⁷. Ainda, outros autores afirmam altas prevalências de perigos relacionados à saúde humana não passíveis de detecção visual ou ainda de doenças animais sem relevância para saúde pública⁸⁻¹⁰.

O distanciamento observado entre os procedimentos adotados na inspeção de carcaças suínas e a evolução da estrutura sanitária dos rebanhos suínos industriais, coloca em questionamento a eficiência dos procedimentos de inspeção de carcaças suínas na promoção da saúde pública. A adequação de um sistema ativo de monitoramento à realidade epidemiológica de uma dada população é um aspecto delicado e importante, sendo que se faz necessário a utilização de ferramentas que possibilitem a tomada racional e transparente de decisões por parte dos gestores públicos¹¹.

Dentro do contexto de segurança dos alimentos, a avaliação de riscos tem emergido como uma ferramenta baseada em ciência, proporcionando transparência aos pares envolvidos e possibilitando o entendimento das etapas envolvidas na avaliação para posterior racionalização da tomada de decisões¹². Exemplos do uso desta ferramenta podem ser vistos na União Europeia que, por meio da Autoridade Europeia para Segurança Alimentar (EFSA), utilizou-se de um modelo de avaliação qualitativa de riscos para discutir as prioridades em saúde pública relacionadas ao consumo de carne suína naquele continente¹³. Em outro exemplo, a Suíça utilizou um modelo de avaliação de exposição para elencar os principais perigos para seres humanos pelo consumo de leite e derivados¹⁴.

Em contraste há poucos estudos de avaliação de risco realizados em países em desenvolvimento^{15,16} sendo que, especificamente no Brasil, poucos relatos de tomadas de decisão baseadas em risco têm sido propostas na área de segurança alimentar. Desta forma os objetivos do trabalho são: (i) estimar os riscos de diferentes perigos biológicos à saúde pública por meio de consumo de carne suína e derivados e (ii) utilizar as estimativas de risco para priorizar os perigos biológicos ligados ao consumo de carne suína e derivados, contextualizando com os atuais procedimentos de inspeção de carcaças suínas.

MÉTODOS

Uma avaliação de riscos qualitativa foi realizada para responder a questão: “Quais os riscos biológicos a seres humanos pelo consumo de carne suína e derivados produzidos sob as condições do sistema industrial no Brasil?” Com isso, serão estimados os riscos relacionados a perigos biológicos à saúde pública visto o consumo de carne suína e derivados, não sendo avaliados saúde animal e ocupacional. Os resultados obtidos se restringem a sistemas de criação de suínos considerados industriais, definidos aqui como rebanhos em que há o controle de origem, alimentação, acesso às granjas e assistência técnica. Frequentemente estes rebanhos encontram-se em sistemas de integração vertical, entretanto sistemas de cooperação podem ser considerados industriais.

O risco avaliado neste trabalho foi expresso para cada combinação de perigo (i) e produto (j). Os j produtos se dividem em: processados cozidos e fermentados (i.e., prontos para o consumo) em que não há cocção adicional no nível do consumidor, cortes suínos e processados *in natura* ou frescais, sendo que as definições acerca dos processos tecnológicos utilizados no preparo de cada produto estão no apêndice I. O modelo de avaliação de riscos é uma adaptação do modelo proposto pela Organização Internacional para a Saúde Animal (OIE)¹⁷ e foi composto da identificação de perigos, avaliação de presença, avaliação da exposição e avaliação das consequências, sendo assim o risco de cada perigo nos diferentes produtos ($R_{i,j}$) pode ser representado de acordo com a equação 1:

$$R_{i,j} = \textit{Presença}_{i,j} * \textit{Exposição}_j * \textit{Consequência}_i \quad (1)$$

Sendo que os (*) significam a interação entre as dimensões. As incertezas associadas a cada combinação de perigo e produto serão descritas qualitativamente em baixa e alta, sendo que quando não havia informações acerca de um dado perigo o mesmo foi retirado da análise.

Identificação dos perigos

Para identificar os perigos, uma adaptação do processo de revisão sistemática de literatura foi realizada utilizando as seguintes palavras chave: (*bacterial agents OR viral agents OR fungal agents OR parasitic agents*) AND (*swine OR pork OR pig*), abrangendo a população de interesse e o assunto estudado. As buscas foram realizadas em Janeiro de 2015 em Português e Inglês nos indexadores PubMed, ScienceDirect, ISI e Web of Science, e resumos de eventos especializados como SafePork e IPVS, além de buscas em Português incluindo bases não indexadas. Perigos contidos na legislação brasileira e em relatórios oficiais do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) foram incluídos.

Avaliação de relevância dos perigos

Para ser considerado relevante o perigo deveria responder sim às três questões: 1) “O perigo pode causar uma infecção ou intoxicação ou infestação em seres humanos visto o consumo de carne suína?”; 2) “O perigo está presente na população de suínos industriais do Brasil?”; 3) “O perigo pode ser introduzido durante o abate e processamento?”. A combinação das três perguntas segue a árvore de decisões mostrada na figura 1.

Para responder a cada uma das questões, evidências em livros texto, artigos científicos e relatos de órgãos oficiais foram considerados. Especificamente a terceira pergunta (O perigo pode ser introduzido durante o abate ou processamento?) foi respondida por meio

de uma sub-árvore de decisões considerando a introdução via operadores e água (Figura 2).

Avaliação de presença

A avaliação de presença procura estimar a probabilidade de cada produto estar contaminado com determinado perigo anteriormente ao cozimento doméstico, com exceção dos produtos fermentados em que não há tratamento térmico doméstico (vide figura 1), resultando na presença final em três níveis 1) Presença do perigo é pouco provável; 2) Presença do perigo é provável; 3) A presença do perigo é muito provável.

A avaliação de presença levará em conta a prevalência e concentração dos perigos sendo que ambas se referem ao resultado da interação das sucessivas etapas de produção. Para cada etapa, serão atribuídos um ou mais processos básicos de transferência do perigo, adaptado do conceito de processo modular de riscos proposto por Nauta¹⁸, sendo que cinco dos seis processos básicos serão levados em conta na transmissão dos perigos na cadeia de produção modelada (Figura 3).

Os efeitos quantitativos de cada um dos processos básicos (e. g. inativação, crescimento, contaminação cruzada) sobre a prevalência e concentração dos perigos modelados estão expressos na tabela 1. Os critérios de classificação do efeito quantitativo dos processos básicos foram expressos em três níveis no total de oito combinações de processos e etapas da cadeia de produção (Apêndice II). Para avaliar cada uma das interações foi utilizada uma matriz de três níveis (Tabela 2).

Avaliação de exposição

A avaliação da exposição estima o consumo *per capita* de cada produto baseado na pesquisa de orçamento familiar do instituto brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

em que a aquisição *per capita* de carne suína e derivados foi quantificada durante os anos de 2008 e 2009¹⁹. Os valores obtidos foram divididos em quartis sendo que os produtos com consumo inferior ao primeiro quartil foram considerado o nível 1 interpretado como baixo consumo *per capita*; produtos com o consumo entre o segundo e o terceiro quartis classificados como nível 2, médio consumo *per capita* e os produtos com consumo acima do terceiro quartil como nível 3, alto consumo *per capita*.

Avaliação das consequências

A avaliação de consequências procura estimar a magnitude das consequências associadas a cada perigo à saúde humana conceituada, aqui, em três níveis sendo o nível 1 os perigos relatados como produzindo doença auto limitante sem o registro sistemático de sequelas, no nível 2 perigos relatados como auto limitantes mas com registros de sequelas e por fim no nível 3 perigos relacionados com doenças crônicas ou que cursam, via de regra, com morte. Para a classificação dos perigos, livros texto e artigos científicos foram utilizados.

Caracterização dos riscos

Para a caracterização dos riscos a interação entre as dimensões de presença, exposição e consequências foram combinadas de acordo com o modelo proposto por Gardoni e Murphy²⁰, baseado na análise combinatória das três dimensões, caracterizando o risco em uma escala de 1 a 10 (Anexo 1).

Análise de cenários

Foram construídos quatro cenários para avaliar o comportamento do modelo frente a: 1) alterações nas prevalências e concentrações iniciais, 2) redução da contaminação

cruzada no abate, 3) falha durante o processo de inativação pela cocção industrial, 4) falha durante a fermentação.

RESULTADOS

Dos 123 perigos considerados no início da revisão, 28 foram classificados como relevantes e submetidos à avaliação de riscos (Figura 4). Dentre os perigos relevantes cerca de 71% são bactérias, 14% são protozoários, 7% toxinas e helmintos e 7%, viroses e outros.

Nos cortes suíno *in natura* ou frescais a exposição foi alta sendo que o nível de risco mais baixo foi 5 e o mais alto 8. Destacam-se *Toxoplasma gondii*, *Mycobacterium* sp. (não avium) e *Clostridium botulinum* com nível de risco 8, sendo seguidos por *Salmonella* sp., *Listeria monocytogenes* e *Yersinia enterocolitica* com nível 7 (Figura 5).

Considerando os produtos processados *in natura* ou frescais a avaliação de exposição foi 2, observando-se que o nível de risco mínimo foi 2 e o máximo 6. Dentre vírus e parasitos, nenhum obteve nível de risco maior que 3, à exceção de *Toxoplasma gondii* com nível 6 juntamente com *Mycobacterium* sp. (não avium) e *Clostridium botulinum*. Dentre as bactérias, *Listeria monocitogenes* e *Yersínia enterocolítica* e *Salmonella* sp. tiveram nível de risco 4 (Figura 6).

Nos produtos processados cozidos os níveis de risco avaliados variaram de 5 a 9, sendo o nível máximo atribuído à Ocratoxina A, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella* sp. e *Listeria monocytogenes* seguido de *Mycobacterium* sp., *Clostridium botulinum*, *Staphylococcus* sp. e *Toxoplasma gondii* com nível de risco 8 (Figura 7).

Em relação aos produtos processados fermentados os perigos Rotavirus, *Giardia* sp., *Balantidium coli*, *Streptococcus suis*, *Erysipelothrix rhusiopathiae* e *Brucella suis* não tiveram o risco avaliado devido à falta de informações acerca dos efeitos do processos e

fermentação sobre estes perigos. O risco se encontrou entre 2 e 7, sendo os valores 7 atribuídos à *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* sp. e *Yersinia enterocolitica*. Os perigos *Clostridium botulinum*, *Staphylococcus* sp., *Toxoplasma gondii* e *Mycobacterium* sp. tiveram risco 6 (Figura 8).

Com relação a análise de sensibilidade, o efeito do aumento das prevalências antes do abate sobre a contaminação tanto de cortes suínos *in natura* quanto de produtos processados *in natura* foram mais marcantes para Rotavírus e *Giardia* sp., mas não mostrou diferenças maiores que uma unidade para os demais perigos. Nos produtos processados cozidos, o aumento da prevalência levou ao aumento do nível de risco principalmente para *Salmonella* sp. e, por outro lado a diminuição da prevalência reduziu os riscos para *Staphylococcus* sp., *Listeria monocytogenes* e *Yersinia enterocolitica*, sendo as diferenças de risco pequenas para os demais perigos.

Em relação aos produtos fermentados, *Campylobacter* sp., Hepatite E, *Escherichia albertii* e *Yersinia enterocolitica* tiveram seus níveis de risco aumentados com o aumento da prevalência, sendo que quando a prevalência foi reduzida os níveis foram mais marcadamente reduzidos frente a *Salmonella* sp., *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes* e *Clostridium perfringens*.

A redução na contaminação cruzada na sala de abate não mudou os níveis de riscos no caso dos cortes suínos *in natura* e teve reduções de uma unidade nos processados *in natura*. O efeito da redução na contaminação cruzada nos cortes e varejo foi observado mais marcadamente para *Listeria monocytogenes* e *Yersinia enterocolitica* quando considerados os produtos processados cozidos e fermentados, sendo que *Salmonella* sp. também teve o risco reduzido no segundo caso.

A falha no cozimento industrial, ou seja, cenário apenas aplicável aos produtos processados cozidos, mostrou um aumento em pelo menos duas unidades de nível risco

para vários perigos, sendo todos, à exceção da Hepatite A, bacterianos: *Aeromonas* sp., *Arcobacter* sp., *Campylobacter* sp., *Clostridium perfringens*, *Escherichia albertii*, *Salmonella* sp. e EHEC. O segundo cenário de falha diz respeito à falha no processo de fermentação/dessecação ocorrido em produtos como salames e presuntos curados. Observou-se aumento de nível risco mais acentuado nos perigos *Aeromonas* sp., *Arcobacter* sp. e *Campylobacter* sp., entretanto sem passar do nível de risco 7 em nenhum caso.

DISCUSSÃO

Dentre os perigos classificados com maior risco para saúde pública, considerando os quatro tipos de produtos avaliados, todos são bacterianos, à exceção da Ocratoxina A. Por outro lado os perigos parasitários foram avaliados em níveis de risco inferiores a 6 para todos os produtos. Isso vem ao encontro do perfil sanitário dos rebanhos suínos industriais, que assumiram um papel de alta tecnificação com maior controle dos meios de produção (e. g. insumos, assistência técnica e técnicas de manejo), mas com maior nível de confinamento e contato entre os animais²¹. Com isso, se por um lado situações que propiciam o desenvolvimento do ciclo de parasitos, são pouco prováveis na suinocultura industrial²², por outro, as condições de manutenção e amplificação de perigos que possuem um ciclo complexo e que, comumente, podem passar despercebidos nos rebanhos¹⁰, como por exemplo *Salmonella* sp., são frequentes.

Isso pode ser visto pelo fato de que em todos os produtos modelados os perigos parasitários e relacionados à zoonoses clássicas tiveram uma avaliação de presença baixa, quando comparados com perigos bacterianos, que apresentaram níveis maior de presença. Entretanto, a avaliação das consequências tende a aumentar o risco relativo final dos perigos parasitários, mantendo alguns em níveis de risco 6. Um exemplo da

instabilidade do modelo frente à avaliação das consequências pode ser vista na comparação de *Salmonella* sp. com *Mycobacterium* sp. (não *avium*) e *Clostridium botulinum* em que, para produtos processados *in natura* o risco de tuberculose e botulismo fora maior que o risco de salmonelose.

No Brasil não há dados oficiais acerca da ocorrência de tuberculose por via alimentar em seres humanos, sendo que de acordo com o Ministério da Saúde, de 1999 a 2004 ocorreram 15 casos de botulismo ligados ao consumo de produtos de origem suína²³ embora não haja especificação acerca do tipo de produto envolvido. De qualquer forma, espera-se que o número de casos, tanto de tuberculose quanto botulismo na cadeia de produção intensiva deve ser baixo, se contrapondo a perigos como *Salmonella* sp., em que um maior número de casos são esperados, entretanto com menor consequência individual.

Neste sentido, Elmontsri²⁴ discute que, os riscos avaliados por meio de uma matriz de riscos devem ser relativizados e a combinação de diferentes valores acerca das dimensões que compõem e o risco devem trazer diferentes interpretações aos mesmos valores de risco. A isto atribui-se uma complexidade de gestão, sendo que uma discussão mais profunda por parte dos tomadores de decisão e gestores deve ser realizada, trazendo à tona os interesses e a percepção de riscos da sociedade em questão, indo além da noção individual da probabilidade de um efeito adverso, sendo um constructo social e cultural, refletindo valores, símbolos, história e ideologia²⁵.

A Ocratoxina A teve o risco considerado alto, entretanto fora modelada apenas para produtos cozidos, uma vez que apenas rins e plasma foram considerados na acumulação da toxina na carcaça^{26,27}. Trata-se de um metabólito secundário de várias espécies fúngicas, sendo os gêneros *Aspergillus* e *Pennincillium* os mais comumente envolvidos com a produção desta micotoxina²⁸. De acordo com Bertuzzi et al.²⁹, a introdução da

toxina na cadeia de produção é mais relevante em produtos fermentados, durante a maturação, entretanto a via indireta (alimentação animal) não deve ser desprezada. Não há dados no Brasil acerca da intoxicação humana por Ocratoxina A, mas ela é classificada como potencialmente carcinogênica para o ser humano³⁰.

Os perigos *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* e *Staphylococcus* sp. tiveram níveis de presença 2 (médio) para os produtos em que fora dado tratamento térmico doméstico e nível 3 (alto) nos produtos em que há uma etapa de varejo antes do consumo. Isso leva a crer que a contaminação cruzada modelada no varejo para os produtos cozidos, juntamente com a possibilidade de crescimento de *Listeria monocytogenes* e *Yersinia enterocolitica* durante a refrigeração estão influenciando os resultados. Da mesma forma a capacidade de multiplicação e produção de toxina dos *Staphylococcus* sp. em baixa atividade de água e pH reduzido está mantendo a presença alta nos produtos fermentados.

Os cenários de sensibilidade mostram baixa influencia da prevalência e concentração para o perfil de perigos nos cortes suínos *in natura* e para os produtos processados *in natura*. Especialmente em relação ao aumento das prevalências e concentrações iniciais, observa-se menor poder discriminatório, ou seja, os riscos atribuídos aos diferentes perigos se aproximam.

As reduções na prevalência e concentração reduzem apenas os níveis de riscos para *Staphylococcus* sp., *Yersinia enterocolitica* e *Listeria monocytogenes* nos produtos cozidos e fermentados. Um ponto importante é considerar a forma de classificação das prevalências no modelo, em que a divisão da prevalência em três níveis: esporádica/endêmica/comensal possa ser um limitante do modelo diminuindo a sensibilidade frente a esta variável.

A redução da contaminação cruzada durante o abate reduziu os riscos para *Salmonella* sp., *Listeria monocytogenes* e *Yersinia enterocolitica* nos produtos processados cozidos e fermentados, mas não teve redução de risco maior que uma unidade para os demais combinações de perigos e produtos. Isso evidencia a importância da contaminação cruzada durante o abate para os perigos citados. Já a falha na cocção industrial mostrou aumento de risco para nove perigos sendo uma das etapas de produção em que o modelo mostrou maior sensibilidade. Por outro lado, falhas na fermentação não foram tão relevantes para o aumento do risco, visto que o processo considerado e as probabilidades de inibição/multiplicação adotadas para os perigos no modelo base podem ser consideradas conservadoras.

Os resultados da avaliação qualitativa de riscos deveriam ser entendidos com uma triagem e, sequencialmente, com base nos resultados obtidos no modelo qualitativo estudos mais detalhados devem ser realizados, se necessário²⁴. De acordo com a Organização Mundial de Saúde, uma forma mais precisa de lidar com a priorização de ações em saúde seria parametrizar o fardo de cada doença para a saúde coletiva. Para tanto, seria necessário lançar mão de modelos quantitativos que permitem avaliar o número estimado de casos calculando, posteriormente, o tempo de vida corrigido pela incapacidade, traduzido do inglês *Disability-adjusted life year* (DALY). Com isso seria possível calcular o tempo de vida desfrutado sem perda de qualidade, possibilitando uma métrica mais objetiva para as tomadas de decisões³¹.

Apesar de algumas limitações metodológicas, a abordagem qualitativa dos riscos é uma ferramenta eficiente para priorização de perigo e sugestão de hipóteses principalmente frente à limitação de recursos, tempo e conhecimento para uma abordagem quantitativa³². Ainda, especialmente em países em desenvolvimento em, que há deficiência nos sistemas de vigilância³³, o modelo utilizado aqui foi uma ferramenta

importante na atualização do perfil de risco dos perigos na cadeia de produção de suínos tecnificados, possibilitando observar um distanciamento entre os procedimentos atuais de inspeção de carcaças suínas e o perfil de perigos avaliados com base em risco.

CONCLUSÕES

A utilização de uma ferramenta transparente e racional pode ser um forte aliado na tomada de decisões. Neste caso, ainda que o modelo possa superestimar alguns riscos, concluímos que o sistema de inspeção de carcaças suínas do Brasil não cobre uma parte significativa dos perigos considerados relevantes no modelo.

REFERÊNCIAS

1. OIE. Chapter 6.2. In: *Terrestrial Animal Health Code*. Vol Paris; 2010:3.
2. Brasil. *Decreto Nº. 30.691 de 29 de Março de 1952*. Brazil; 1952:154.
3. Brasil. *Portaria Nº 711 de 1 de Novembro de 1995*. Brazil; 1995.
4. Schwarz P, Silva LE da, Marchetti AN, et al. Tuberculosis outbreak in a pig farm due to *Mycobacterium tuberculosis* complex. *Acta Sci Vet*. 2002;30(3):197-200. <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/19759/000399347.pdf?sequence=1>.
5. Valença RMB, Mota R a., Anderlini G a., et al. Prevalência e fatores de risco associados à infecção por *Toxoplasma gondii* em granjas suínícolas tecnificadas no estado de alagoas. *Pesqui Vet Bras*. 2011;31(2):121-126. doi:10.1590/S0100-736X2011000200005.
6. Miele M. Levantamento Sistemático da Produção e Abate de Suínos. *Embrapa Suínos e Aves*. 2006;550(104):27.
7. FALAVIGNA-GUILHERME Keisa ; ARAUJO, S. M. ; TIYO, Rogério ; TOBIAS, Mariana Leal ; FALAVIGNA, Dina Lucia Moarais AL; S. Cisticercose em animais abatidos em Sabáudia, Estado do Paraná. *Arq Bras Med Veterinária e Zootec*. 2006;58(19):950-951. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352006000500036n01020935>.
8. Kich JD, Coldebella A, Morés N, et al. Prevalence, distribution, and molecular characterization of *Salmonella* recovered from swine finishing herds and a slaughter facility in Santa Catarina, Brazil. *Int J Food Microbiol*. 2011;151(3):307-313. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.09.024.
9. Pissetti C, Werlang GO, Biesus LL, Kich JD, Cardoso MR de I. *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* Detection on Pre-chill Pig Carcasses. *Acta*

- Sci Vet.* 2012;40(4):1071-1079.
10. Alberton GC, Mores MAZ. Interpretação de lesões no abate como ferramenta de diagnóstico das doenças respiratórias dos suínos. *Acta Sci Vet.* 2008;36(1):95-99. [http://www.ufrgs.br/actavet/36-suple-1/13_lesoes no abate.pdf](http://www.ufrgs.br/actavet/36-suple-1/13_lesoes%20no%20abate.pdf).
 11. Salman MD. Animal Disease Surveillance and Survey Systems. In: *Animal Disease Surveillance and Survey Systems*. Vol ; 2003:3-13. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.
 12. Vose D. *Risk Analysis: A Quantitative Guide*. Vol 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2008.
 13. EFSA. Opinion of the Scientific Panel on biological hazards (BIOHAZ) related to “Risk assessment and mitigation options of Salmonella in pig production.” *EFSA J.* 2006;341:1-131. doi:10.2903/j.efsa.2006.341.
 14. Menendez Gonzalez S, Hartnack S, Berger T, Doherr M, Breidenbach E. A Qualitative Risk Assessment Approach for Swiss Dairy Products: Opportunities and Limitations. *Zoonoses Public Health.* 2011;58(3):209-219. doi:10.1111/j.1863-2378.2010.01341.x.
 15. Mürmann L, Corbellini LG, Collor AÁ, Cardoso M. Quantitative risk assessment for human salmonellosis through the consumption of pork sausage in Porto Alegre, Brazil. *J Food Prot.* 2011;74(4):553-558. doi:10.4315/0362-028X.JFP-10-339.
 16. Howard G, Pedley S, Tibatemwa S. Quantitative microbial risk assessment to estimate health risks attributable to water supply: Can the technique be applied in developing countries with limited data? *J Water Health.* 2006;4(1):49-65. doi:10.2166/wh.2005.058.
 17. OIE. Chapter 2.1.1. In: OIE, ed. *Terrestrial Animal Health Code*. Vol Paris; 2010:6. http://web.oie.int/eng/normes/mcode/en_chapitre_1.2.1.pdf.
 18. Nauta MJ. Modelling bacterial growth in quantitative microbiological risk assessment: is it possible? *Int J Food Microbiol.* 2002;73(2-3):297-304. doi:10.1016/S0168-1605(01)00664-X.
 19. IBGE. *Pesquisa de Orçamentos Familiares: Aquisição Alimentar Domiciliar per Capita*. Rio de Janeiro; 2010.
 20. Gardoni P, Murphy C. A Scale of Risk. *Risk Anal.* 2014;34(7):1208-1227. doi:10.1111/risa.12150.
 21. Krabbe EL, Filho JIDS, Miele M, Martins FM. Cadeias produtivas de suínos e aves. *Tópicos atuais na produção suínos e aves*. 2008:9-32. <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>.
 22. D’Alencar AS, Farias MPDO, Rosas EDO, et al. Influência do manejo higiênico sanitário na infecção por helmintos gasreintestinais em suínos de granjas tecnificadas e de subsistência abatidos na região metropolitana de recife e zona da mata do estado de pernambuco, Brasil. *Arq do Inst Biológico; Arq do Inst*

- Biológico*. 2011;78(2):207-2015. doi:10.5433/1679-0359.2011v32n3p1111.
23. Brasil. *Boletim Eletrônico Epidemiológico N 6*. Brasília; 2005. http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/periodicos/boletim_eletronico_epi_ano05_n06.pdf.
 24. Elmontsri M. Review of the strengths and weaknesses of risk matrices. *J Risk Anal Cris Response*. 2014;4(1):49-57.
 25. Sjöberg L, Moen B-E, Rundmo T. *Explaining Risk Perception. An Evaluation of the Psychometric Paradigm in Risk Perception Research*. Vol (Rundmo T, ed.). Trondheim: Rotunde; 2004. http://www.svt.ntnu.no/psy/torbjorn.rundmo/psychometric_paradigm.pdf.
 26. Milićević D, Jurić V, Stefanović S, Jovanović M, Janković S. Survey of slaughtered pigs for occurrence of ochratoxin A and porcine nephropathy in Serbia. *Int J Mol Sci*. 2008;9(11):2169-2183. doi:10.3390/ijms9112169.
 27. Milicevic D. The presence of ochratoxin A residue in blood plasma, liver and kidneys of slaughtered swine. [M.Sc. thesis]. 2006. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=RS2008000904#.V5eP0DlwpyM.mendeley>. Accessed July 26, 2016.
 28. Quinn P, Markey B, Leonard F, FitzPatrick E, Fanning S, PJ H. *Veterinary Microbiology and Microbial Disease*.; 2011. doi:10.1016/S1090-0233(02)00137-5.
 29. Bertuzzi T, Gualla A, Morlacchini M, Pietri A. Direct and indirect contamination with ochratoxin A of ripened pork products. *Food Control*. 2013;34(1):79-83. doi:10.1016/j.foodcont.2013.04.011.
 30. IARC. *Some Naturally Occurring Substances, Food Items and Constituents, Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxin*. Lion: International Agency for Research on Cancer; 1993.
 31. WHO | Metrics: Disability-Adjusted Life Year (DALY). http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/#.V5a9zzLhTYs.mendeley. Accessed July 26, 2016.
 32. Altenbach TJ. A comparison of risk assessment techniques from qualitative to quantitative. In: *Joint American Society of Mechanical Engineers*. Vol ; 1995. <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/67753>.
 33. Pouillot R, Garin B, Ravaonindrina N, et al. A Risk Assessment of Campylobacteriosis and Salmonellosis Linked to Chicken Meals Prepared in Households in Dakar, Senegal. *Risk Anal*. 2012;32(10):1798-1819. doi:10.1111/j.1539-6924.2012.01796.x.

ANEXO I Modelo de interação entre as dimensões presença, consequências e exposição baseado em permutação com elementos repetidos para a caracterização dos níveis de risco.

Presença	Consequência	Exposição	Nível de risco
3	3	3	10
3	3	2	9
3	2	3	9
2	3	3	9
3	1	3	8
1	3	3	8
3	3	1	8
2	3	2	7
2	2	3	7
3	2	2	7
3	1	2	6
3	2	1	6
2	3	1	6
2	1	3	6
1	3	2	6
1	2	3	6
3	1	1	5
1	3	1	5
1	1	3	5
2	2	2	4
2	2	1	3
2	1	2	3
1	2	2	3
2	1	1	2
1	2	1	2
1	1	2	2
1	1	1	1

Proposto originalmente em Gardoni e Murphy20

APÊNDICE I - Definições dos processos tecnológicos utilizados no preparo de cada produto.

Cortes suínos *in natura*: Cortes de peças das carcaças suínas, com recortes no varejo sem processamento adicional (moagem, trituração e embutimento) e sem adição de agentes de cura e fermentação.

Produtos processados *in natura*: Resultante da moagem e mistura de tecidos musculares, colágenos e gorduras, sem a adição de órgãos comestíveis, submetida a adição de sais de cura e embutimento.

Produtos processados cozidos: Resultante da moagem, trituração mistura e coagulação de tecidos animais, músculos, colágenos, gorduras e órgãos comestíveis ou sangue. Submetidos à adição de sais de cura e cozimento industrial caracterizado por 70°C por 30 minutos

Produtos processados fermentados: Produtos submetidos à moagem e mistura de tecidos musculares, colágenos e gordura, com a adição de sais de cura, e submetidos ao processo de fermentação e secagem por 4-7 dias, resultando em um produto com pH de 5 e atividade de água (Wa) 0,9.

APÊNDICE II - Critérios de classificação do efeito quantitativo dos processos básicos de transferência dos perigos nas etapas específicas da cadeia de produção modelada.

1º Prevalência e concentração iniciais:

- 1 – Perigo considerado esporádico na população de suínos industriais do Brasil;
- 2 – Perigo considerado endêmico;
- 3 – Perigo considerado comensal aos suínos.

2° Contaminação cruzada no processo de abate e mistura no processamento:

- 1 – Perigo localizado em órgãos específico ou em forma de cistos;
- 2 – Perigo presente nos tratos urinário inferior ou gastrointestinal, ou ainda, na cavidade oral;
- 3 – Perigo presente de forma disseminada no soro sanguíneo, músculos e demais tecidos.

3° Remoção durante abate:

- 1 – Perigo visualizado facilmente nas superfícies musculares ou membranas serosas dos órgãos;
- 2 – Perigo pode ser visto indiretamente (i. e. contaminação fecal);
- 3 – Perigo não pode ser visto de qualquer maneira.

4° Contaminação cruzada no espotejamento e varejo:

- 1 – Contaminação cruzada é considerada nula;
- 2 – Contaminação cruzada pode acontecer em baixa frequência;
- 3 – Contaminação cruzada acontece frequentemente entre as carcaças/carne e ambiente (mãos, utensílios e superfícies).

5° Crescimento no varejo:

- 1 – Perigo em questão não pode se multiplicar ou completar fases de desenvolvimento sem um hospedeiro;
- 2 – Pode haver crescimento se houver abuso da temperatura (padrão 5°C);
- 3 – O perigo cresce na temperatura de 5°C.

6° Inativação no processamento:

1 – Perigo é eliminado (grande quantidade) na temperatura de 70°C por 30 minutos;

2 – Perigo pode sobreviver (grande quantidade) na temperatura de 70°C por 30 minutos;

3 – Perigo é resistente ao binômio tempo/Temperatura.

7° Crescimento no processo:

1 – As barreiras de atividade de água e pH são suficientes para barrar o crescimento ou metabolismo, ou até mesmo redução pode ocorrer;

2 – As barreiras de atividade de água e pH controlam moderadamente o crescimento ou metabolismo do perigo;

3 – As barreiras de atividade de água e pH não evitam o crescimento ou metabolismo do perigo.

8° Inativação doméstica:

1 – Perigo é inativado em grande parte em uma faixa de temperatura de 50-60 °C por 10 minutos;

2 – Perigo é parcialmente inativado em uma faixa de temperatura de 50-60 °C por 10 minutos;

3 – Perigo não é inativado no binômio tempo/Temperatura 50-60°C por 10 minutos.

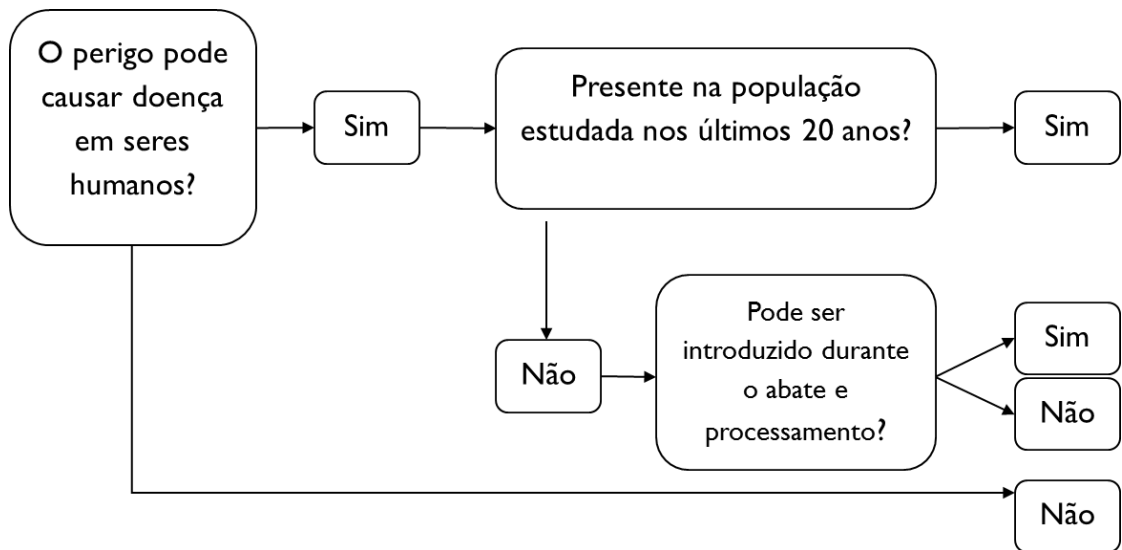


Figura 1 – Árvore de decisões utilizada para a avaliação de relevância dos perigos à saúde pública relacionados pelo consumo de carne suína e derivados. Os perigos devem responder sim ao fim da árvore para serem considerados relevantes.

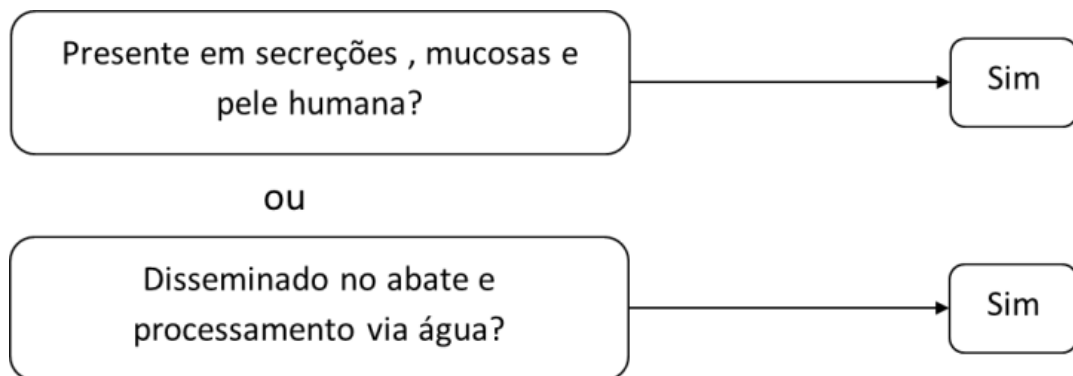


Figura 2 – Sub-árvore de decisões utilizada para a introdução dos perigos no abate ou processamento.

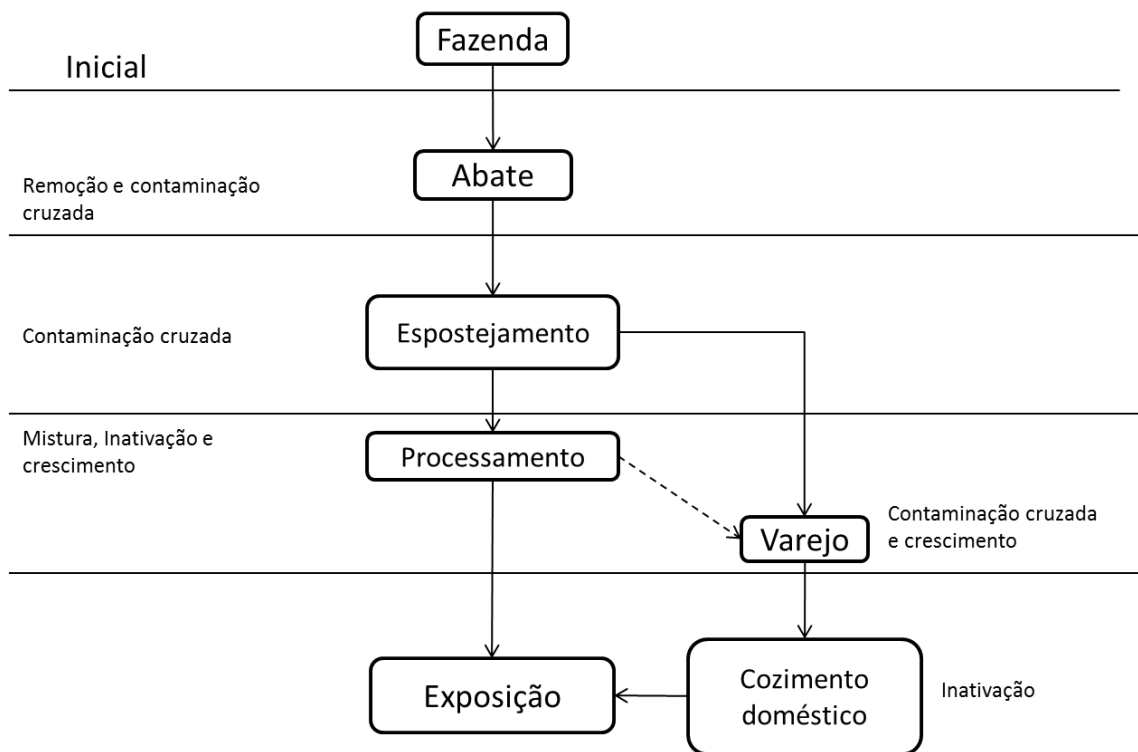


Figura 3 – Caminho dos alimentos da granja até a exposição do consumidor.

Considerando os produtos cozidos ou fermentados não há cocção doméstica (i.e produtos prontos para consumo). Por outro lado quando considerados os cortes suínos e produtos processados *in natura* a cocção doméstica é considerada no modelo.

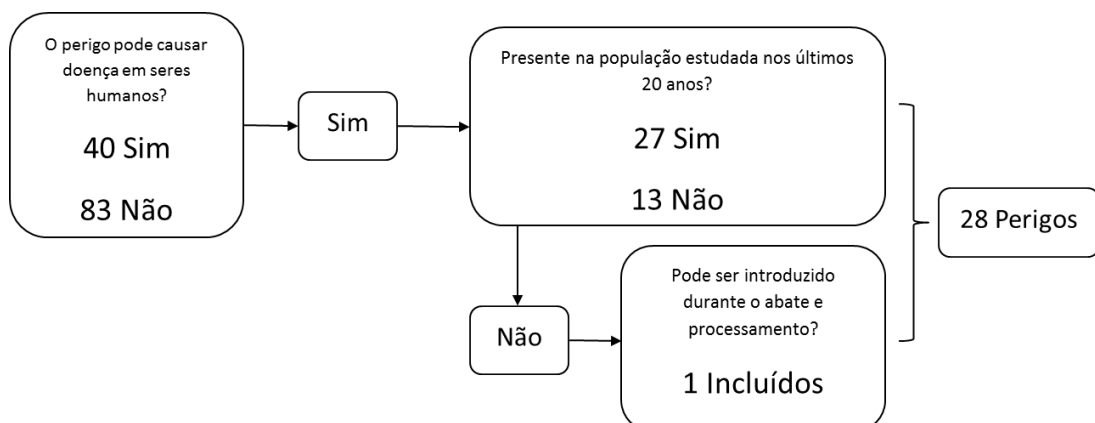


Figura 4 – Resultado da identificação de perigos via revisão sistemática de literatura

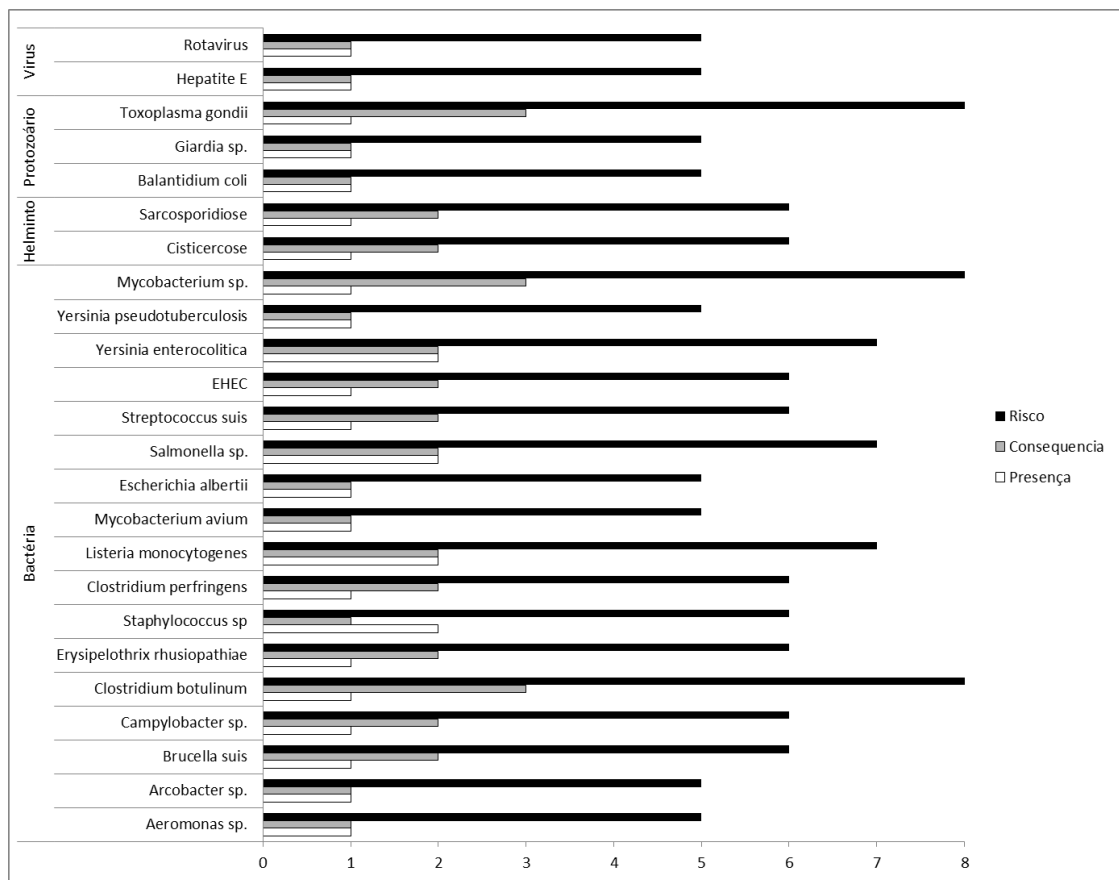


Figura 5 - Resultados das avaliações de presença e consequência e caracterização de riscos para cada perigo por meio do consumo de cortes suínos *in natura* ou frescos.

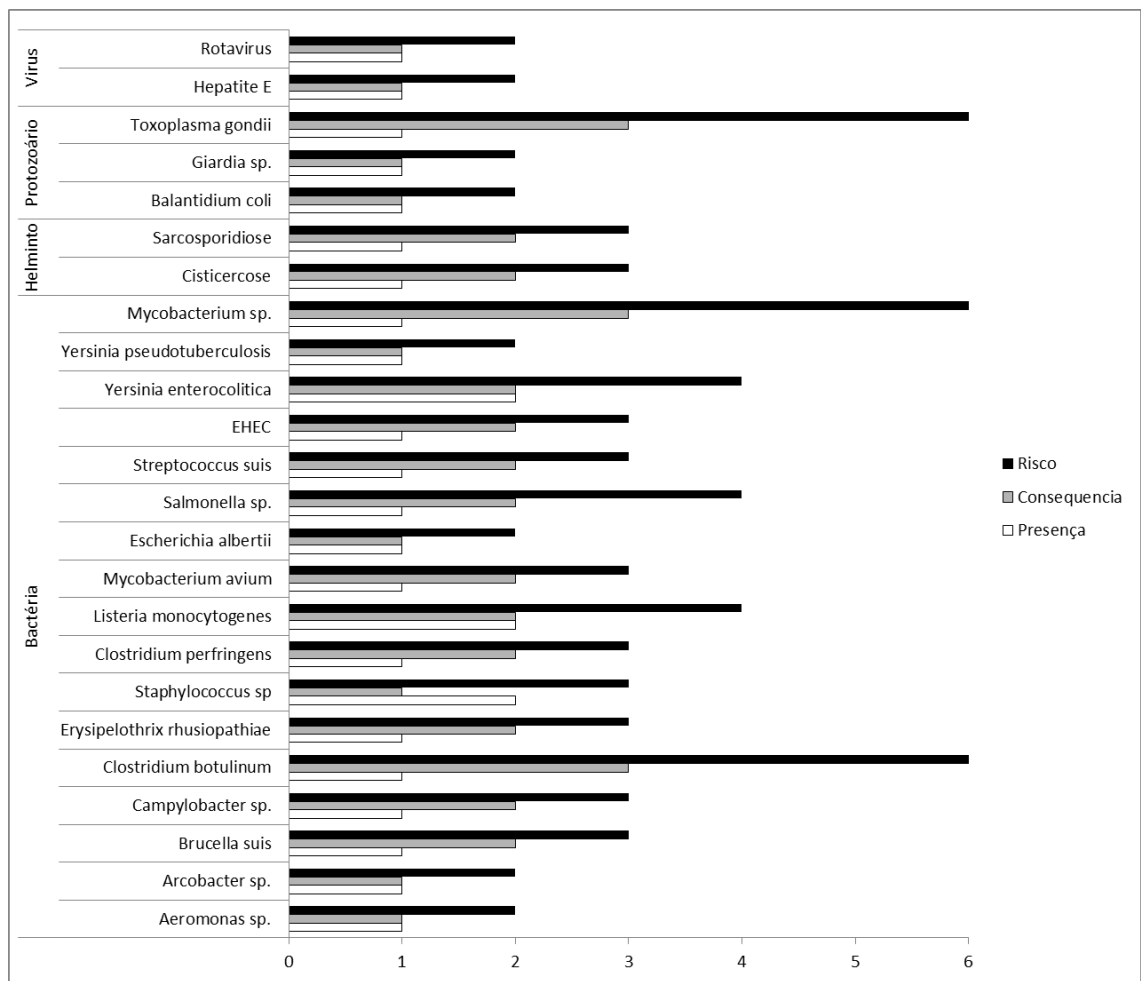


Figura 6 – Resultados das avaliações de presença, consequência e caracterização de riscos para cada perigo por meio do consumo de produtos processados *in natura* ou frescos.

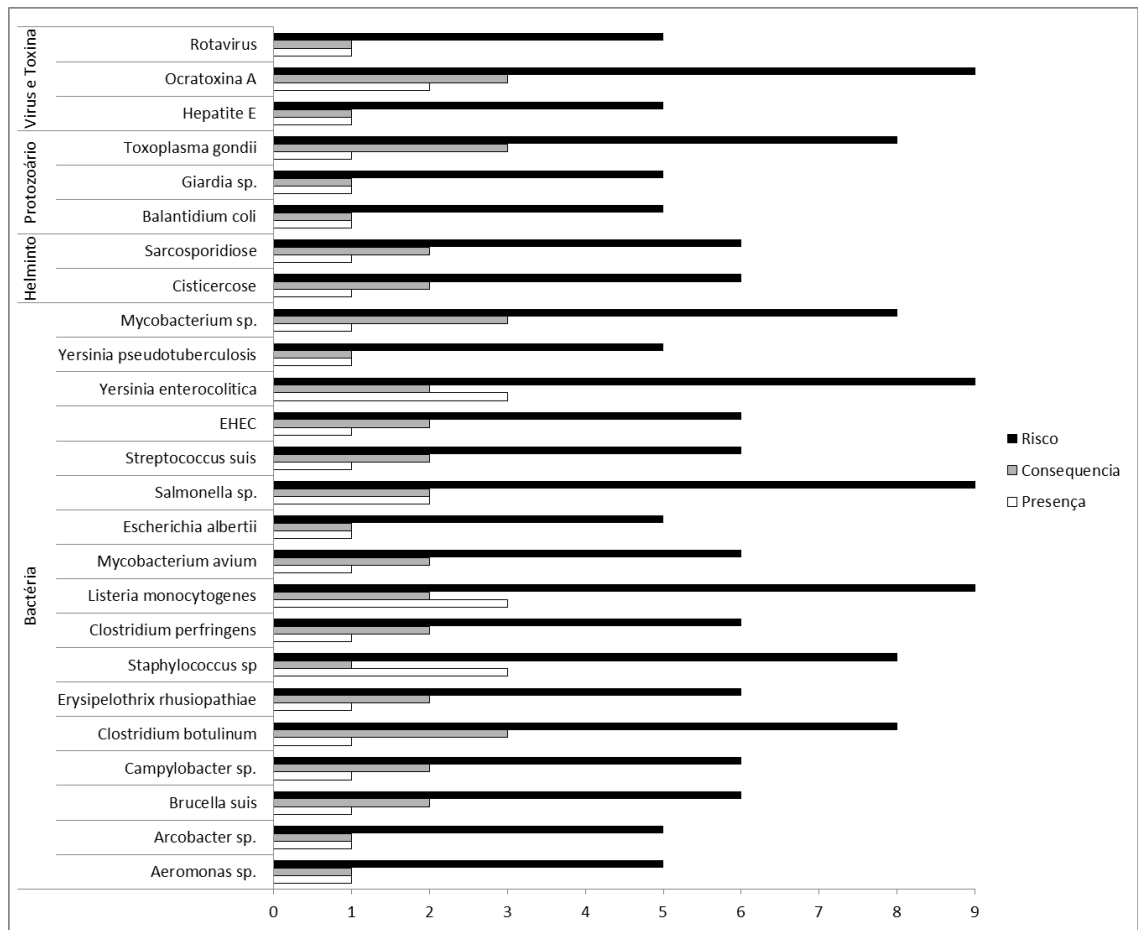


Figura 7 - Resultados das avaliações de presença e consequência e caracterização de riscos para cada perigo por meio do consumo de produtos processados cozidos.

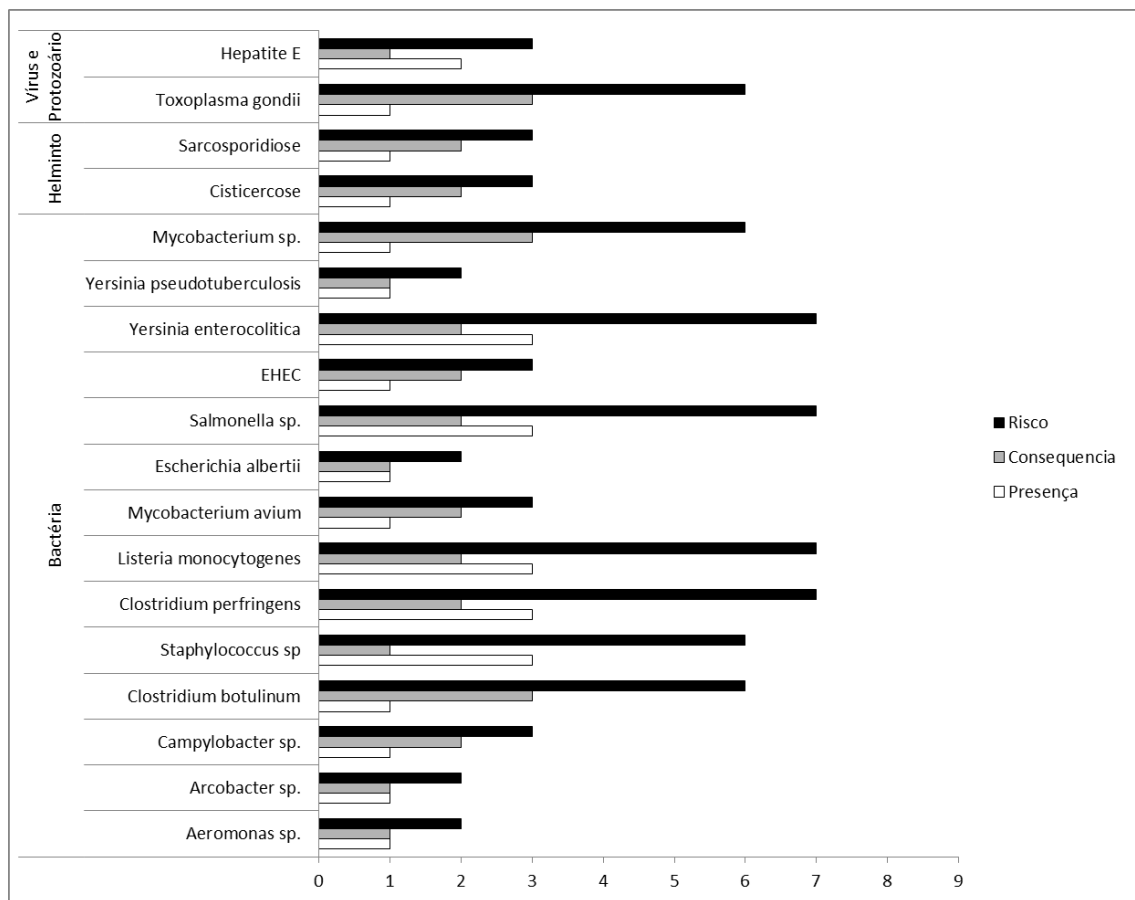


Figura 8 - Resultados das avaliações de presença e consequência e caracterização de riscos para cada perigo por meio do consumo de produtos processados fermentados.

Tabela 1 – Efeito quantitativo de cada um dos processos básicos atribuídos à cadeia de produção sobre a prevalência e concentração dos perigos nos produtos derivados de carne suína

Processo	Prevalência	Concentração
Contaminação cruzada	Aumento	Sem alteração*
Inativação	Redução	Redução
Crescimento	Sem alteração	Aumento
Mistura	Aumento	Sem alteração
Remoção	Redução	Redução

* Modelo original assume tanto aumento quanto sem alteração.

Adaptado de Nauta¹⁸.

Tabela 2 – Matriz utilizada nas interações entre as diferentes etapas do processo e das dimensões de prevalência e concentração para a construção da avaliação de presença

Dimensão ou etapa 1	Dimensão ou etapa 2		
	1	2	3
1	1	1	2
2	1	2	3
3	2	3	3

4 ARTIGO 2: A STOCHASTIC MODEL TO ASSESS THE EFFECT OF MEAT INSPECTION PRACTICES ON THE CONTAMINATION OF THE PIG CARCASSES¹

¹Artigo submetido à revista científica *Risk Analysis*. A formatação do artigo segue as normas da revista em questão. Este estudo propõe um modelo matemático para avaliar o efeito da contaminação cruzada durante os procedimentos de inspeção de carcaças suínas.

A stochastic model to assess the effect of meat inspection practices on the contamination of the pig carcasses

Eduardo de Freitas Costa*¹; Luis Gustavo Corbellini¹; Ana Paula Serafini Poeta da Silva¹; Maarten Nauta²

1: Laboratory of Veterinary Epidemiology (Epilab), Department of Preventive Veterinary Medicine, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil

Address: Avenida Bento Gonçalves, n° 9090, zip code 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil; phone: +55 51 3308 8025

2: Technical University of Denmark – National Food Institute

Mørkhøj Bygade, 19, Building G, DK-2860 Søborg, Denmark

Abstract

The objective of meat inspection is to promote animal and public health, by preventing, detecting and controlling hazards originating from animals. With the decrease in the prevalence of parasitic diseases and the increase of emerging microbial hazards in the last decades, the existing meat inspection of pig carcasses may does not target the major current foodborne pathogens. Additionally carcass manipulations performed when searching for macroscopic lesions can lead to cross-contamination between carcasses and between organs and carcass surface. We therefore developed a stochastic model to quantitatively describe cross-contamination when consecutive carcasses are submitted to classic inspection procedures. The microbial hazard used to illustrate the model was *Salmonella*, the data set was obtained from Brazilian slaughterhouses and some simplifying assumptions were made. The model predicted that, due to cross-contamination during inspection, the prevalence of contaminated carcass surfaces increased from 1.2% to 95.7%, whereas the mean contamination on contaminated

surfaces decreased from 1 to $-0.87 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$, and the standard deviations decreased from 0.65 to 0.19. These results are explained by the fact that, due to carcass manipulations with hands, knives and hooks, including the cutting of contaminated lymph nodes, *Salmonella* is transferred to previously uncontaminated carcasses, but in small quantities. These small quantities can easily go undetected during sampling. Sensitivity analyses gave insight in the model performance and showed that the touching and cutting of lymph nodes during inspection can be an important source of carcass contamination. The model can serve as a tool to support discussions on the modernization of pig carcass inspection.

Keywords: Mathematical modeling, cross-contamination, carcass inspection

1. INTRODUCTION

The main objective of meat inspection is to promote both animal and public health, by preventing, detecting and controlling microbial hazards originating from animals.⁽¹⁾

Although no precise definition about meat inspection procedures has been proposed, the *Codex Alimentarius* refers to two types of inspection. *Ante-mortem* examination consists of a clinical examination aimed at detection and/or exclusion of non-health animals.

Post-mortem examination consists of a pathological examination to identify potential hazards for human or animal health.⁽²⁾ Classically the inspection of pigs is done in all carcasses and the procedures are based on physical examinations, like incisions, palpation and observation of the carcass, organs and lymph nodes, searching for macroscopic lesions, typical for classical zoonotic diseases.⁽³⁾

Although the recognition of animals as a source of pathogens to humans dates from prehistoric times, the current procedures were developed in Europe by Robert von Ostertag in 1900.⁽⁴⁾ They have an important role in controlling zoonotic diseases, mainly in places, where the production is not done in an integrated production chain⁽⁵⁾ and, consequently, classic zoonosis are endemic.

The global livestock production systems have undergone an industrial revolution and the production has shifted increasingly from smallholders to large-scale, industrial production chains. An increasing share of production comes from pigs and chickens that are more easily adapted to large-scale industrial production than ruminants.⁽⁶⁾ In 2010, even in developing countries, at least 50% of the herds in pork production are processed in integrated productions systems.⁽⁷⁾

Nowadays, farms adhere to specific management requirements like all-in-all-out production, controlled feed sources, indoor production, and a traceability system from the farm to the slaughterhouse.⁽⁸⁾ As a consequence, hazards like parasites are getting

rare in the industrial pork production chain.^(8–10) On the other hand, the intensification of the production brings changes in the epidemiology and other microbial pathogens are emerging.⁽¹¹⁾ *Salmonella* spp., *Yersinia enterocolitica*, *Toxoplasma gondii* and *Trichinella* spp. are identified as the most important hazards to be covered by the meat inspection of swine carcasses.⁽⁵⁾

The interaction of these pathogens with the host and the environment raises some concerns about the suitability of the classic inspection procedures. It demands structured control using all food chain information to reach a risk-based inspection system.⁽¹²⁾ The modernization of meat inspection has been extensively studied in Europe and since 2014 according to the EC Regulation 219/2014 the inspection of pig carcasses is visual-only for pig herds that have been reared in integrated farm systems, doing palpation and incision when a lesion has been found after visual-only inspection.

In 2011 the European Food Safety Authority (EFSA) discussed the limitations of the meat inspection system procedures, such as lymph node incision, in terms of consumer health protection and stated that the classic procedures could increase the level of cross-contamination, also for zoonotic pathogens. However, quantitative data on the impact of the inspection procedures on cross-contamination are lacking and Hill *et al.*⁽¹³⁾ highlighted the need of studies regarding the cross-contamination during the inspection procedures to support a risk-based approach to meat inspection, which could improve the efficiency in dealing with public health issues related to animal slaughter.

In this paper we describe a modelling approach to study the impact of meat inspection practices on cross-contamination between pig carcasses and to provide insight in the potential effect of these practices on the prevalence and concentration of pathogens on pig carcasses. Using methods applied in quantitative microbiological risk assessment (e.g. Nauta *et al.*)⁽¹⁴⁾, we aim to quantify the cross-contamination during meat inspection

of pig carcasses via specific transfer routes and to assess their relevance for the contamination of the carcasses. The model is set up as a generic model for cross-contamination during meat inspection and is applied to *Salmonella* transfer during inspection of pig carcasses in Brazil, because there is relevant data available from some large slaughterhouses in Brazil, and transfer of this pathogen from lymph nodes to the carcass surface has been considered a potential hazard.^(15,16) To illustrate the model, we focus on the point of the meat inspection identified as “*CARCASS*” by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). It takes place after the carcass splitting and refers to inspection of specific parts of the pig carcass by cutting and touching the skin, musculature, exposed bones, joints, tendon sheaths, serous membrane and the mentioned lymph nodes: superficial inguinal, supramammary, external and internal iliac, prepectoral, popliteal, renal and prescapular.⁽¹⁷⁾

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Conceptual model

The basic structure of the model and the transfer routes considered are shown in Fig. 1. The model has a similar structure as the one developed by Nauta *et al.*⁽¹⁴⁾ for broiler processing and is based on classic meat inspection procedures, where a series of consecutively slaughtered carcasses are submitted to several manipulations, and cross-contamination between carcasses may occur via equipment (like cutting knives and hooks used to hang up the carcasses) and hands. Therefore, the *knife, hands and hook* were considered as the relevant components of the slaughter environment. As both the surface and organs of the pig may get in contact with hands and equipment, the carcass was separated in two components: the *carcass surface* and the possible *organs* evaluated during the inspection. Contact between the carcass (carcass surface and organs) and the environmental components occurs on specific areas of the carcass

surface and the organs. The transfer of bacteria can happen from the environmental components to carcass and from the carcass to environmental components.

The model only considers the carcass and the predefined environmental components as sources of bacteria, the influence of the air, carcass to carcass contact or other external factors are ignored. Also, bacterial growth during the inspection is excluded from the model. Removal of the bacteria from the carcass (surface or organs) can only occur by the inspection activities that are included in the model. Bacteria on the knife are frequently inactivated by putting the knife in hot water (i. e. 83 C°). Washing of hands and cleaning of the hooks are unusual or don't follow a clear rule during meat inspection and have therefore not been considered.

2.2 Mathematical model

The model can be written as a system of five difference equations as given below (1). It describes the changes in the concentrations in the five components for consecutively slaughtered carcasses i , before inspection (stage S-1) and after inspection (stage S). Variables are listed in Table 1. The upper cases letters represent variables, and lower case letters represent model parameters. Ae and Ac are used as index and refer to the different areas on carcass ($Ae = \text{knife (K), hand (H), hook (G)}$) and different compartments of carcass ($Ac = \text{surface (C) or organs (O)}$).

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{i,S} = \sum_{Ae \in \{K,H,G\}} (1 - d_{Ae})(1 - b_{C,Ae})^{J_{i,Ae}} C_{i,(S-1),Ae} + E_{(i-1),Ae} (1 - (1 - a_{Ae,C})^{J_{i,Ae}}) \\ O_{i,S} = \sum_{Ae \in \{K,H,G\}} (1 - d_{Ae})(1 - b_{O,Ae})^{J_{i,Ae}} O_{i,(S-1),Ae} + E_{(i-1),Ae} (1 - (1 - a_{Ae,O})^{J_{i,Ae}}) \\ K_i = K_{(i-1)} \prod_{Ac \in \{C,O\}} (1 - a_{K,Ac})^{J_{(i-1),Ac}} + \sum_{Ac \in \{C,O\}} N_{i,Ac} (1 - d_{Ac}) (1 - (1 - b_{Ac,K})^{J_{i,Ac}}) \\ H_i = H_{(i-1)} \prod_{Ac \in \{C,O\}} (1 - a_{H,Ac})^{J_{(i-1),Ac}} + \sum_{Ac \in \{C,O\}} N_{i,Ac} (1 - d_{Ac}) (1 - (1 - b_{Ac,H})^{J_{i,Ac}}) \\ G_i = G_{(i-1)} \prod_{Ac \in \{C,O\}} (1 - a_{G,Ac})^{J_{(i-1),Ac}} + \sum_{Ac \in \{C,O\}} N_{i,Ac} (1 - d_{Ac}) (1 - (1 - b_{Ac,G})^{J_{i,Ac}}) \end{array} \right. \quad (1)$$

The variable $E_{i,Ae}$ is the generic term to refer to the environment and the value of Ae for knife, hands or hook will be used according to the area modeled. Similarly, the variable $N_{i,Ac}$ is a generic term to refer to the carcass surface or organs, according to the component Ac modeled. Organs will be referred to from here onward, as lymph nodes, because that is the most relevant organ evaluated during this specific inspection point.

The variables are explained in the Table I.

The numbers of contacts between the environmental components and the carcasses compartments are represented by $J_{i,Ae}$ or $J_{i,Ac}$, when J is indexed by Ae it refers to a combination of the environment (knife/hand/hook) and the carcass compartment being modeled. On the other hand when J is indexed by Ac it refers to a combination of the carcass compartment (surface or lymph nodes) and the environment being modeled. All these combinations are sampled from empirical distributions (see appendix A) and are assumed to affect either the surface or lymph nodes with equal probability (50%). Also, the three areas are considered mutually exclusive: the worker does not touch the same carcass area with his hands as the worker cuts or holds the carcass with the hook.

Table I. Overview of model variables (eq. 1): Each variable describes a quantity that is changing for consecutive carcasses (with rank number i) and over the process steps S-1 (before) or S (after inspection). Values before inspection are sampled from the indicated distributions and values after inspection are calculated by the model

Variable	Description	Distribution/function	Unit	Source
$J_{i,Ae}$	Number of cuts, touches or hooking in the carcass i	Empirical [#]	Count	Appendix A
$\log_{10}[C_{i,(S-1)}]$	<i>Salmonella</i> concentration on the carcass surface i before inspection (S-1) on contaminated	Normal(-5.4;2.2) ^{o#}	\log_{10} CFU/cm ²	(18) Appendix B

carcass.				
	Status of carcass surface			(18)
$PrevC_{i(S-1)}$	contamination on the carcass i before inspection ($S-1$)	100%	Positive/Negative	Appendix B
	<i>Salmonella</i> counts on the carcass surface i before inspection ($S-1$) on contaminated carcass.			
$C_{i(S-1)}$		$Poisson\left(\left[C_{i(S-1)}\right] ea_{Ae} J_i\right)$	CFU ^{##}	Calculation, see Table 2
	<i>Salmonella</i> concentration in organs (lymph nodes) i before inspection ($S-1$) in contaminated lymph nodes.			
$[O_{i(S-1)}]$		Triangular(0.1;1;100) [#]	CFU/cm ²	Assumption
	<i>Salmonella</i> counts in organs (lymph nodes) i before inspection ($S-1$) in contaminated lymph nodes.			
$O_{i(S-1)}$		$Poisson\left(\left[O_{i(S-1)}\right] ea_{Ae} J_i\right)$	CFU ^{##}	Calculation, see Table 2
	Status of organs contamination in the carcass i before inspection ($S-1$) (i.e., carrying <i>Salmonella</i> in lymph nodes)			
$PrevO_{i(S-1)}$		Bernoulli(14.1%)	Positive/Negative	(11)
	Amount of <i>Salmonella</i> on knife by the carcass i after inspection	Model	CFU	Calculation
K_i				
	Amount of <i>Salmonella</i> on hands by the carcass i after inspection	Model	CFU	Calculation
H_i				
	Amount of <i>Salmonella</i> on hook by the carcass i after inspection	Model	CFU	Calculation
G_i				

[#] Distribution expressing variability between carcasses i ; [◇]

Parameters (μ , σ and $PrevC_{i(S-1)}$) were fitted according a Zero inflated normal distribution by Maximum Log likelihood estimation method (Appendix B); ^{##}CFU per inspected area.

The model was implemented as a Monte Carlo simulation model. Transfers were described as binomial processes taking into account the successive contacts between environment and carcass, as explained in appendix C. For example, in the first term in the equations considering the carcass, $(1 - d_{Ae})(1 - b_{C,Ae})^{J_{i,Ae}}$ is the fraction of the number of *Salmonella* that are not lost by removal (d) and not transferred from the carcass, to the environment on different areas, indicated by the index Ae (knife area, hand area, and hook area). The second term is $(1 - (1 - a_{Ae,C})^{J_{i,Ae}})$, the fraction of the number of *Salmonella* received from the environment indicated by the index Ae (knife, hand and hook) to the carcass and can be derived as explained in appendix C.

In the last three equations, modeling the environmental components, using the knife as example, the first term: $\prod_{Ac \in \{C,O\}} (1 - a_{K,Ac})^{J_{(i-1),Ac}}$ concerns the *Salmonella* that are not transferred from the knife to the carcass ($i-1$) on different compartments indexed by Ac (surface and lymph nodes). The second term $(1 - (1 - b_{Ac,H})^{J_{i,Ac}})$ indicates the *Salmonella* received from the carcass indicated by the index Ac (surface or lymph nodes). The variables $C_{i,(S-1)}$ and $O_{i,(S-1)}$ represent the counts of *Salmonella* before the inspection and describe the variability between inspected carcass surfaces and organs respectively. To account for the random spatial distribution of cells over the inspected area, a Poisson distribution was used. In order to assess the true prevalence, the variables $C_{(i-1),S}$ and $O_{(i-1),S}$ were multiplied by the positive/negative status (1 or 0) of carcass surface contamination $PrevC_{i,(S-1)}$ and lymph nodes $PrevO_{i,(S-1)}$, both sampled from Bernoulli distributions.

The transfer parameters a , b and the removal parameter d , are used in combination with the index Ae or Ac according to the area on the carcass or the environmental components modeled. For instance when the parameter a is used with index Ae , it refers

to the probability of transfer of a CFU from the environment according index A_e used (knife, hand or hook) to the modeled carcass (surface or lymph node). The same way, when it is presented with index A_c it represents the probability of transfer from the modeled environment to carcass (surface or lymph node) according the index A_c used. Table II provides an overview of the parameters used in the model.

Counts of *Salmonella* were expressed in CFU and the outputs were calculated for the inspected areas (CFU/cm²) and then transformed to natural logarithm (presented here as “log”), considering only the contaminated carcasses (because log (0) is not defined).

When a carcass has not been submitted to any contact with the environment by hands, knife or hook, the carcass was considered as not inspected and, consequently, the concentration on inspected area is assumed to be the same as before (S-1). Also the parameter of probability of inactivation or removal on carcass or in organs is underlying assumed to be zero. The analyses were done using @Risk 6.2.1 (Palisade) for Excel with 10000 iterations using 500 and 100 consecutively processed carcasses. These numbers were chosen to approximate realistic numbers of pigs slaughtered in a slaughter line per shift of two hours (i.e. 350 carcasses/hour), whilst keeping the model manageable and restricting the running time.

Table II. Parameters used to illustrate the dynamics of the model. The indices Ae and Ac will be substituted here by the initials of environment compartment and carcass compartments respectively

Parameters	Description	Unit	Value	Source
a_{k-c}	Transfer probability knife-carcass	%	0.17	(19)
a_{k-ln}	Transfer probability knife-lymph nodes	%	0.17	(19)
a_{h-c}	Transfer probability hand-carcass	%	0.21	(20)
a_{h-ln}	Transfer probability hand-lymph nodes	%	0.21	(20)
a_{g-c}	Transfer probability hook-carcass	%	0.17	(19)
a_{g-ln}	Transfer probability hook-lymph nodes	%	0.17	(19)
b_{c-k}	Transfer probability carcass-knife	%	0.17	(19)
b_{c-h}	Transfer probability carcass-hand	%	3.1	(20)
b_{c-g}	Transfer probability carcass-hook	%	0.17	(19)
b_{ln-k}	Transfer probability lymph nodes-knife	%	0.17	(19)
b_{ln-h}	Transfer probability lymph nodes-hand	%	0.21	(20)
b_{ln-g}	Transfer probability lymph nodes-hook	%	0.17	(19)
ea	Environmental components area			
ha	Area of touch (cm ²)	cm ²	150	Assumption*
ga	Area of hook (cm ²)	cm ²	1	Assumption*
ka	Area of cut (cm ²)	cm ²	10	Assumption*
ck	Probability of changing the knife	%	90	Assumption (based on observations)

* Estimates for the medium size of these areas, author's best guess.

2.3 Sensitivity analysis

First, the baseline model was built with the parameter values indicated in Tables 1 and 2. Next, two types of sensitivity analyses were performed. First, several *univariate* analyses were done to assess the impact of parameters on the model outputs. To avoid unrealistic values we used a range of values between each parameter baseline value (y)

and realistic minimum and maximum values of the parameter considered (y^-) and (y^+) respectively (Appendix D). To assess the impact of ranges of input values, above and below the baseline we applied:

$$f(x; y, y^-, y^+) = \begin{cases} y + (y - y^-)x, & \text{for } x < 0 \\ y - (y - y^+)x, & \text{for } x \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

with x runs from minimum to maximum when x runs from -1 to 1 and meet the baseline when $x=0$. The univariate analyses were ran with 10000 iterations using 100 carcasses. Based on the *univariate* results, nine scenarios were submitted to *multivariate* analyses (Appendix E) and simulated with 10000 iterations using 500 carcasses.

2.4 Data sources

The data on the carcass surface contamination were obtained from da Silva *et al.*⁽¹⁸⁾

These authors collected carcass surface swabs in three Brazilian commercial slaughterhouses. Data regarding the lymph nodes prevalence were obtained from 12 cohorts representing finishing herds located in the state of Santa Catarina, Brazil.⁽¹¹⁾

These herds belong to an integrated system responsible for approximately 7% of all Brazilian pork production in 2007. Manipulation data were observed during two weeks in March 2015 in a large Brazilian pig slaughterhouse dedicated to exportation. 778 inspection procedures were counted during this period, of which 290 in the inspection point “CARCASS”. The numbers of manipulations were recorded in a database.

Although no data regarding transfer probability in slaughterhouse environment could be found, results from Kim *et al.*⁽¹⁹⁾ and Hong and Bahk⁽²⁰⁾, provide transfer probabilities between hands and pork and knife and pork, respectively. We have not found suitable concentration data for *Salmonella* in lymph nodes, the values used were based on estimates of the authors.

3. RESULTS

3.1 Baseline and distributions

In the baseline model, the mean of the mean concentrations (μ) and the mean prevalence were determined for in two independent simulations with 500 and 100 consecutive carcasses, over 10000 iterations. As the mean concentration is the mean of logs, only contaminated carcasses are included in the calculations. The results are summarized and given in Table III. The mean concentration on inspected areas of the contaminated carcass surfaces is decreasing after inspection procedures, from 1 to $-0.87 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$. Standard deviations of the means decrease as well, from 0.65 to 0.2. The reason is that many more carcass surfaces are getting contaminated by cross-contamination, resulting in a large number of carcasses (i. e. a prevalence difference of 94.6 percentage points) contaminated with lower concentrations. Consequently the variability is decreasing (See Fig. 2).

Table III. Outputs for inspected areas of carcass surface and lymph nodes before and after inspection procedures in model simulations with 500 and 100 carcasses. The mean (μ) and standard deviation (σ) are those of the mean values for the contaminated inspected carcass areas among the 500 or 100 simulated carcasses; the prevalence is the mean prevalence after 10000 iterations

	500 carcasses			100 Carcasses		
	μ (σ) logCFU/cm ²	Prevalence % [#]	CFU in the system ^{##}	μ (σ) logCFU/cm ²	Prevalence % [#]	CFU in the system ^{##}
Surface						
before	1 (0.65)	1.2	2.6*10 ⁵	1 (1.22)	1.2	4.2*10 ⁴
Surface after	-0.87 (0.2)	95.8	3.7*10 ⁵	-1.6 (0.47)	92	5.2*20 ⁴
LN before	3.17 (0.13)	22.2	2.3*10 ⁶	3.17 (0.3)	23.8	4.6*10 ⁵
LN after	0.08 (0.2)	96.7	2.1*10 ⁶	-0.41 (0.51)	93.9	4.1*10 ⁵

LN=Lymph node; [#] The prevalence refers to at least one cell on inspected area; ^{##}

arithmetic mean (over 10000 iterations) of the total number of *Salmonella* on carcasses surface and lymph nodes (i. e. whole carcass) in all simulated areas per iteration.

For the lymph nodes the effects of the inspection procedures on the mean and prevalence are similar to those observed in the carcass surface (i.e. decrease and increase respectively), but the standard deviation increases after inspection. Although the results suggest a reduction in mean carcass surface contamination, after inspection, the sum of the numbers of *Salmonella* (“CFU in the system”) is increasing on the carcass surface and decreasing in the lymph nodes. The reason is that the geometric mean (mean of logCFU), which only can includes values larger than zero (i.e.

contaminated carcasses), should not be interpreted as an arithmetic mean. As the model does not assume any growth, the only sources of contamination are the carcasses entering into the slaughterhouse and therefore the results indicate a flow of contamination from the lymphatic tissue to the surface by inspection procedures. Results differ depending on the number of simulated carcasses. With a lower number of carcasses, the variation in mean concentrations sampled from the zero inflated Poisson Lognormal is larger. For example, with the prevalence 1.2%, the probability that the concentrations in all 100 carcass surfaces are zero is $(1-0.012)^{100} = 30\%$, for 500 carcass surfaces it is $(1-0.012)^{500} = 0.24\%$ (compare Fig 2a and 2b). The peaks in figure 2a before inspection reflect the sampling of 1 and 2 positive carcasses, with the variability in concentrations around it. Differences between distributions are smaller when considered after inspection, because more carcass surfaces are contaminated. Hence, the number of carcasses used in the analysis is relevant and the number of carcasses used to run the model should be realistic. Still, very large numbers of carcasses slow down the calculations considerably.

3.2 Univariate sensitivity analyses

Of the 23 parameters analyzed (see appendix D) seven had a significant impact on the output mean of the means (μ) and four on the mean prevalence. Here, the impact is considered significant if the mean output values in the sensitivity analysis fall out of the range correspondent to 2.5th and 97.5th percentiles of the distribution describing the variability between model iterations in the mean μ from -2.57 to -0.83 logCFU/cm² and prevalence 81-98%. As shown in Fig. 3 the mean concentration of carcass surface contamination before inspection $[C_{i,(S-1)}]$ and its standard deviation had an important effect on the surface contamination after inspection procedures. The mean after inspection increased from -1.6 to 9.07 logCFU/cm² on the inspection area when the load

of *Salmonella* on carcass surfaces before inspection approaches the maximum value ($2 \log_{10}\text{CFU}/\text{cm}^2$ compared to -5.4 in the baseline). The same effect cannot be seen when mean and standard deviation are decreased below the baseline. Changes in lymph nodes contamination, by changing the maximum value of the triangular distribution used in $[O_{i,(S-1)}]$ from 100 to $1000 \text{CFU}/\text{cm}^2$, increased the mean to $0.54 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$, and decreases it to $-3.6 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$ when the parameter is reduced to $10 \text{CFU}/\text{cm}^2$. Also the prevalence of animals carrying *Salmonella* in lymph nodes had an important effect by reducing the mean contamination to $-4.3 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$ and increasing it to $-0.7 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$ compared to the baseline ($-1.6 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$).

Fig. 4 shows how changes in transfer probabilities affect the mean contamination on the carcass surface. If the transfer probability from hands to lymph nodes (a_{h-ln}) decreases to 0% using $x = -1$, the lack of bacterial transfer from hands to lymph nodes leads to an increase of the amount on the hands and a subsequent increase of transfer to the carcass surface, leading to a small increase of the mean to approximately $-1.45 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$. But when the same parameter is increased, the mean decreases because the cells transferred to the lymph nodes can no longer be transferred to the carcass surface. Both, transfer probabilities from the lymph node to hand (b_{ln-h}) and to carcass by the hand (a_{h-c}), show similar results below the baseline, but b_{ln-h} keeps increasing the mean until x approaches 1 . On the other hand, a_{h-c} has a peak when x is close to 0.05 , when bacteria cluster on the first carcasses after hand contamination. As the concentration on the first carcasses after hand contamination increases, less CFU are available to contaminate carcasses that are inspected later, leading to a decrease in the prevalence (Fig. 5). As a consequence of the fact that the mean log can be calculated only on carcasses with at least one CFU, there are increases of the mean observed ($\log\text{CFU}/\text{cm}^2$) when the x increases in both variables: (b_{ln-h}) and (a_{h-ln}).

Fig. 5 shows the effects of tested parameters on prevalence after inspection. The effect of reduction of $PrevO_{i,(S-1)}$, (b_{ln-h}) and (a_{h-c}) leads to reducing the surface prevalence to approximately 29%, 21% and 12% respectively, whereas reductions in (a_{h-ln}) do not seem to affect the surface prevalence. When the values of the transfer parameters (a_{h-ln}) and (a_{h-c}) are increased, reductions of the prevalence can be seen. These reductions are linked to the increase of mean surface contamination observed in Fig. 4.

3.3 Multivariate sensitivity analyses

Table IV shows the mean of the means (μ) logCFU/cm², its standard deviation (σ) and mean prevalence on carcass surface ‘before’ and ‘after’ inspection in the multivariate sensitivity analyses. The first scenario shows the baseline for comparison proposes. The second and third scenarios present a stress analysis to verify the model performance. As expected, when transfer probabilities are set to zero, the outputs before and after were the same. Also, the absence of sources of contamination results in a completely uncontaminated scenario after inspection, meeting the null contamination set by the parameters.

Table IV. Scenarios used in multivariate analyses to test the effect of different variables combination on mean of the means (μ) logCFU/cm² its standard deviation (σ) and mean prevalence of contaminated carcass surface before and after inspection

Scenario	μ (σ) logCFU/cm ²		Prevalence %	
	before	after	before	after
Baseline	1 (0.65)	-0.87 (0.2)	1.2	95.8
No transfer	1 (0.65)	1 (0.65)	1.2	1.2
No contamination (S-1)	-	-	0	0

Only carcass (S-1)	1 (0.65)	-5.08 (0.89)	1.2	43.9
Only LN (S-1)	-	-0.93 (0.18)	0	95.7
Hand influence high mean on $\log_{10}[C_{i,(S-1)}]$	1.8 (0.28)	0.64 (0.82)	11.3	96.7
Hand influence high standard deviation on $\log_{10}[C_{i,(S-1)}]$	2.6 (0.52)	0.12 (1.56)	6.2	96.4
Hand Influence high $[O_{i,(S-1)}]$	1 (0.65)	1.31 (0.18)	1.2	97.3
Hand Influence high $PrevO_{i,(S-1)}$	1 (1.65)	0.5 (0.11)	1.2	97.4

When only the carcass surface was included as the source of *Salmonella*, an important difference could be found as both the level of surface contamination and prevalence after inspection were drastically reduced compared to the baseline. The influence of high transfer probability involving the hands and carcass, by increasing the parameters a_{h-c} , b_{c-h} (appendix E) tested together with a higher initial concentration on contaminated carcass surfaces ($\log_{10}[C_{i,(S-1)}] = -3 \log_{10} \text{CFU}/\text{cm}^2$), increased the mean from -1.6 to 0.64 $\log\text{CFU}/\text{cm}^2$ and the mean prevalence to 96.7%. The influence of high transfer probability involving the hands and carcass was also tested with an increase of variability of contamination on carcass surface. It resulted in an increase of carcasses surface contamination because surface contamination (S-1) entered in the model as \log_{10} , and increases in variability affect the expected value, as the arithmetic mean of C_{iS} equals $10^{(\mu + \frac{1}{2}\log(10)\sigma^2)}$ and the transfer of bacteria acts as a factor of quantity and not of the log-quantity.

Also, the influence of high transfer probability involving hands and carcass was tested with a higher concentration of *Salmonella* in lymph nodes (mean=337 CFU/cm²) and a high frequency of animals carrying *Salmonella* in lymph nodes (100%). The increase in lymph nodes contamination $O_{i,(S-1)}$ had an important effect on the mean, changing it from -0.88 to 1.31 logCFU/cm². Changings in Prev $O_{i,(S-1)}$ also increased the surface contamination and prevalence after inspection. The mean on surface contamination increased to 0.55 logCFU/cm² and the prevalence to 97.4%.

4. DISCUSSION

We developed a generic mechanistic model to assess the effect of cross-contamination during pig carcass inspection, which can be applied to different hazards for different inspection practices. Its performance has been studied for one inspection step, using a Brazilian data set on *Salmonella* contamination and some parameters assumptions. The results allow us to draw conclusions on the potential impact of the cross-contamination dynamics during meat inspection, but are not necessarily considered representative for the impact of inspection of pig carcasses in Brazil. To do so the all steps involved in carcasses inspection should be modeled using observed parameters.

With the inputs used, the model showed that the meat inspection leads to a redistribution of *Salmonella* over the carcasses, which implies that many more carcasses become contaminated, but with (very) low numbers of bacteria. In terms of prevalence and concentrations we found an increase in the surface contamination prevalence with more than 90 percentage points through the inspection process and, due to the increase in the number of contaminated carcasses, a decrease in the mean of the mean log concentrations in contaminated carcasses. The cutting of the lymph nodes during inspection plays an important role, as it adds *Salmonella* to the carcass surface areas that were not present on carcass surfaces before inspection. Overall, the model shows that

the conduction of meat inspection can lead to a spread of *Salmonella* from the lymphatic tissue to carcass surface, decreasing the differences between the surface contamination of different carcasses.

Note that the baseline depicts a scenario of high lymph node contamination, and although we have no data about lymph nodes contamination, prevalence studies have shown that this is not always realistic.^(21–23) The phenomena described here meet results from previous research on the effect of carcass manipulation on carcass surface contamination by *Salmonella*, where the importance of lymphatic tissue manipulation has been observed in herds with a high number of pigs harboring the bacteria in lymph nodes.^(16,21) If the model would be applied to obtain realistic estimates, the user should adjust parameter values and distributions to their observations. For example, variation in the prevalence of contaminated pigs or contaminated lymph nodes entering in slaughterhouse can be found as a function of season, slaughterhouse and slaughter day.^(24–26)

In all sensitivity analyses, the equation used to standardize the domain can result in mathematical artefact. If distances between the minimum or maximum values from baseline are the same, the factor x will be multiplied by the same values, only changing the sign (e. g. Fig.3). On the other hand, if baseline value detaches from the center of domain, the factor x will be multiplied by different values above and below the baseline, bringing the impression of stronger effect in one side than another (Fig. 4 and 5). As an example when the bacterial transfer baseline is 0.17%, (i. e far from the 50% center of this domain) with minimum and maximum values as 0 and 1 respectively, applying the equation number 2 we obtain a transfer value of approximately 11% when $x=0.1$ and 0.1% when $x=-0.1$.

The multivariate sensitivity analysis (table IV) showed that, when the lymph nodes were

considered to be uncontaminated (i.e only the carcass surface was a source of contamination), the surface contamination after inspection was much lower than in the baseline. Also, the mean and standard deviation ($\log\text{CFU}/\text{cm}^2$) decreased to -5 and 0.89 respectively, and in such a scenario, a large number of positive carcasses would be below the limit of detection ($-4 \log\text{CFU}/\text{cm}^2$)⁽¹⁸⁾, so the observable prevalence would only be 5% instead of 44%. On the other hand, when only the lymph nodes are considered as source of bacteria, the results were kept similar to the baseline, indicating that the effect of lymph nodes inspection dominated the surface carcass contamination. These results do not allow us to compare the importance of the inspection on the carcass contamination when compared to the whole carcass processing and although the inspection can be considered as a minor importance when compared to dressing activities⁽²⁷⁾ the present model is an important tool to describe an additional drawback of the classic inspection system. Despite of the fact that many carcasses with lower average contamination can be observed after the inspection of pig carcasses, no conclusions about the impact of inspection of pig carcasses on the expected number of human salmonellosis case is not clear through this model. Approaches like quantitative microbiological risk assessment (QMRA) could help to answer such question since could use outputs of this model and additionally modeling the interaction of pathogens and several steps until the consumption, taken into account uncertainties and variability in the process.⁽²⁸⁾

When only considering the prevalence, the results obtained here may seem to be alarming and unrealistic, because the increase in more than 90 percentage points is very large and it is not observed in prevalence studies, which give values like 24%⁽¹¹⁾ and 14%.⁽¹⁸⁾ Although these prevalence results were obtained in Brazilian slaughterhouses before chilling, no inactivation step is used in Brazil between the carcass inspection and

the chilling. A reason that observed prevalences are so much lower than predicted by the model may be the localization of the contaminating bacteria, which is restricted to areas manipulated by the inspection workers. These may not correspond with areas sampled when these prevalence studies were performed. According to Jongenburger *et al.*⁽²⁹⁾ batches with localized bacterial concentration reduce the observed prevalence with a factor l , derived from the relative size of the contaminated areas compared to the whole surface (see Appendix F).

Another issue could be the difference between the measured prevalence (frequency of carcasses with bacterial count above the limit of detection (LOD)) and the modeled prevalence which refers to carcasses with more than one CFU (>0 CFU). In this model it is not the case since the modeled prevalence >0 CFU is the same as the modeled prevalence considering $>LOD$ (data not showed) but, anyway, it is important to keep it in mind when applying this model to provide a reasonable discussion.

The purpose of the model is to capture the essential dynamics, and therefore the right balance between reality/complexity and simplicity is important.⁽³¹⁾ Simplifying assumptions about the inspection process are for example that we choose to give an equal probability of handling the carcass surface and lymph nodes and the inspection workers are equally capable to run the inspections and treat each carcass randomly. Only knife, hand and hook are modelled, because procedures regarding the use of these three components are more standardized and easier to quantify. In general, the effect of direct contact (hand, knife) is more important to carcass contamination than other potential sources of contamination.^(32,33)

In this model, only carcass surface and lymph nodes are considered as sources of contamination. Regarding the meat inspection procedures, this can be considered a

realistic approach because viscera, like intestines, are cut and manipulated, usually, in another step of the slaughter process⁽²⁾. Although some adaptations of the model may be necessary, the model is generic enough to deal with different hazards and inspection processes. Also, several authors have reported different approaches to deal with cross-contamination and transfer in food products^(34–39), and a particularly interesting approach is proposed by Smid *et al.*⁽⁴⁰⁾, taking into account the uncertainty generated in transfer experiments. We preferred to use here a binomial process, assuming a mechanistic approach regarding the transfer of cells⁽³⁶⁾, but the model can be updated in order to consider new evidence about the transfer of different hazards in pork.

The model applied to *Salmonella* has shown that the manipulation parameters and the initial contamination of the carcass surfaces and the lymph nodes are the most important for the surface contamination after inspection. Although some studies have reported bacterial quantification on carcass surfaces^(41,42), these studies are scarce and they do not always account for quantification immediately before the inspection point. To our knowledge, no data are available on *Salmonella* concentrations in the lymph nodes of pigs, whereas the model shows that this information is essential to assess the impact of cross contamination during meat inspection.

These results shed some light on the potential inadequacy of classic pig carcass inspection and therefore it can be considered as a tool for the implementation of risk-based approaches in meat-inspection.⁽⁴³⁾ Some discussion about it has been done by Hill *et al.*⁽¹³⁾ who conclude that modernization of meat inspection towards to visual-only approach does not seem to be a threat to public health. However, these authors also identify a lack of knowledge regarding cross-contamination during the traditional pig carcass inspection and indicate that this information is needed. Furthermore, Ravel *et al.*⁽³⁰⁾ discuss that during the traditional inspection system, cross-contamination can

occur between the lymph nodes and other parts of the same carcass or even between consecutive carcasses, but the cross-contamination level has not been described so far.⁽³⁰⁾

5. CONCLUSIONS

In the classic veterinary meat inspection of pig carcasses, the effect of cross-contamination may not be negligible. The model presented in this paper offers a tool to quantify these effects. Our analyses show that, especially when animals that carry high concentrations of *Salmonella* in lymph nodes are entering the slaughterhouse, bacteria will be spread to many previously uncontaminated carcasses. The model had not been validated, so far, and this step is important to figure out the suitability of this model in describe cross-contamination during classic inspection procedures and support the modernization of inspection of pig carcass.

REFERENCES

1. OIE. Control of biological hazards of animal health and public health importance through ante and post-mortem meat inspection. in Terrestrial Animal Health Code. 24th ed. Paris: World Organization for Animal Health (OIE), 2015.
2. Codex Alimentarius Commission (CAC). Code of Hygienic Practice for Meat. Rome: FAO, CAC/RCP, 2005.
3. Edwards DS, Johnston AM, Mead GC. Meat inspection: an overview of present practices and future trends. The Veterinary Journal, 1997; 154(2):135–147.
4. Von Ostertag R. Handbuch Der Fleischschau Für Tierärzte, Ärzte Und Richter. F. Enke (ed). Stuttgart, 1892.

5. EFSA. Scientific Opinion on the public health hazards to be covered by inspection of meat (swine) 1. The EFSA journal, 2011; 9(10):1–198.
6. FAO. Responding to the “Livestock Revolution” – the case for livestock public policies. The Livestock Policy Briefs, 2005:1–8.
7. Robinson TP, Thornton PK, Franceschini G, Kruska RL, Chiozza F, Notenbaert A, Cecchi G, Herrero M, Epprecht M, Fritz S, You L, Conchedda G, See L. Global Livestock Production Systems., 2011.
8. Davies PR. Intensive Swine Production and Pork Safety. Foodborne pathogens and disease, 2010; 8(2):189–201.
9. Nissen S, Poulsen IH, Nejsum P, Olsen A, Roepstorff A, Rubaire-Akiiki C, Thamsborg SM. Prevalence of gastrointestinal nematodes in growing pigs in Kabale District in Uganda. Tropical animal health and production, 2011; 43(3):567–72.
10. Davies P., Morrow WE., Deen J, Gamble H., Patton S. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* and *Trichinella spiralis* in finishing swine raised in different production systems in North Carolina, USA. Preventive Veterinary Medicine, 1998; 36(1):67–76.
11. Kich JD, Coldebella A, Morés N, Nogueira MG, Cardoso M, Fratamico PM, Call JE, Fedorka-Cray P, Luchansky JB. Prevalence, distribution, and molecular characterization of *Salmonella* recovered from swine finishing herds and a slaughter facility in Santa Catarina, Brazil. International Journal of Food Microbiology, 2011; 151(3):307–313.
12. Blaha T, Meemken D, Dickhaus CP, Klein G. Proposals for designing the food

- chain information for the implementation of the risk-oriented ante- and post-mortem meat inspection. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift*, 2007; 114(8):309–316.
13. Hill A, Brouwer A, Donaldson N, Lambton S, Buncic S, Griffiths I. A risk and benefit assessment for visual-only meat inspection of indoor and outdoor pigs in the United Kingdom. *Food Control*, 2013; 30(1):255–264.
 14. Nauta M, Van Der Fels-Klerx I, Havelaar A. A poultry-processing model for quantitative microbiological risk assessment. *Risk Analysis*, 2005; 25(1):85–98.
 15. Bessa MC, Costa M da, Cardoso M. Prevalência de *Salmonella* sp em suínos abatidos em frígórficos do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 2004; 24(2):80–84.
 16. Vieira-Pinto M, Temudo P, Martins C. Occurrence of salmonella in the ileum, ileocolic lymph nodes, tonsils, mandibular lymph nodes and carcasses of pigs slaughtered for consumption. *Journal of veterinary medicine. B, Infectious diseases and veterinary public health*, 2005; 52(10):476–481.
 17. FAO. *Manual on Meat Inspection for Developing Countries*. Herenda D, Chambers PG, Ettriqui A, Seneviratna P, Silva TJP da (eds). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization, 1994.
 18. da Silva LE, Dias V, Ferronato A, Guerra P, Berno L, Triches N, Kich JD, Corbellini LG, Cardoso M. Longitudinal dissemination of *Salmonella enterica* clonal groups through the slaughter process of *Salmonella*-positive pig batches. *Journal of food protection*, 2012; 75(9):1580–8.

19. Kim S, Bahk G, Ding T, Kim TW, Oh DH. Adherence Rates of Salmonella Typhmuriium ans Salmonella spp. in pork Meat Contaminated during Processing. Korean Society of Food Science and Technology, 2008; 40(3):349–353.
20. Hong C-H, Bahk G-J. Comparison of Cross-contamination of Salmonella spp. on Pork Meat and Workers' Hands during Pork Cutting Processing. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2008; 28(5):562–566.
21. Vieira-Pinto M, Tenreiro R, Martins C. Unveiling contamination sources and dissemination routes of Salmonella sp. in pigs at a Portuguese slaughterhouse through macrorestriction profiling by pulsed-field gel electrophoresis. International journal of food microbiology, 2006; 110(1):77–84.
22. Gragg SE, Loneragan GH, Nightingale KK, Brichta-Harhay DM, Ruiz H, Elder JR, Garcia LG, Miller MF, Echeverry A, Ramírez Porrás RG, Brashears MM. Substantial within-Animal Diversity of Salmonella Isolates from Lymph Nodes, Feces, and Hides of Cattle at Slaughter. Applied and Environmental Microbiology, 2013; 79(15):4744–4750.
23. Broadway P, Carroll J, Brooks J, Donaldson J, Sanchez N, Schmidt T, Brown T, Callaway T. Salmonella prevalence of lymph nodes and synovial fluid of orally inoculated swine. Agriculture, Food and Analytical Bacteriology, 2015; 5(1):6–8.
24. Delhalle L, De Sadeleer L, Bollaerts K, Farnir F, Saegerman C, Korsak N, Dewulf J, De Zutter L, Daube G. Risk factors for Salmonella and hygiene indicators in the 10 largest Belgian pig slaughterhouses. Journal of food protection, 2008; 71(7):1320–1329.
25. Hald T, Wingstrand A, Swanenburg M, von Altrock A, Thorberg BM. The

- occurrence and epidemiology of Salmonella in European pig slaughterhouses. *Epidemiology and infection*, 2003; 131(3):1187–1203.
26. Prendergast DM, Duggan SJ, Fanning S, Cormican M, Gonzales-Barron U, Butler F, Duffy G. Prevalence and numbers of Salmonella spp. and Enterobacteriaceae on pork cuts in abattoirs in the Republic of Ireland. *Journal of applied microbiology*, 2008; 105(4):1209–1219.
 27. Swart AN, Evers EG, Simons RLL, Swanenburg M. Modeling of Salmonella Contamination in the Pig Slaughterhouse. *Risk Analysis*, 2016; 36(3):498–515.
 28. Vose D. *Risk Analysis: A Quantitative Guide*. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2008.
 29. Jongenburger I, den Besten HMW, Zwietering MH. Statistical aspects of food safety sampling. *Annual review of food science and technology*, 2015; 6:479–503.
 30. Ravel A, Sidibé B, Moreau P, Bisailon J-R. Risk-Benefit Assessment of Hog Mandibular Lymph Node Incision at Slaughter in Canada. *Journal of Food Research*; Vol 4, No 6 (2015), 2015.
 31. Zwietering MH. Quantitative risk assessment: Is more complex always better?. Simple is not stupid and complex is not always more correct. *International Journal of Food Microbiology*, 2009; 134(1-2):57–62.
 32. Fredriksson-Ahomaa M, Korte T, Korkeala H. Contamination of Carcasses, Offals, and the Environment with yadA-Positive *Yersinia enterocolitica* in a Pig Slaughterhouse. *Journal of Food Protection®*, 2000; 63(1):5.
 33. Argüello H, Alvarez-Ordóñez A, Carvajal A, Rubio P, Prieto M. Role of

- slaughtering in salmonella spreading and control in pork production. *Journal of Food Protection*, 2013; 76(5):899–911.
34. Møller C, Nauta M, Christensen BB, Dalgaard P, Hansen TB. Modelling transfer of *Salmonella Typhimurium* DT104 during simulation of grinding of pork. *Journal of Applied Microbiology*, 2012; 112(1):90–98.
 35. Pérez-Rodríguez F, Valero a., Carrasco E, García RM, Zurera G. Understanding and modelling bacterial transfer to foods: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 2008; 19(3):131–144.
 36. Carrasco E, Morales-Rueda A, García-Gimeno RM. Cross-contamination and recontamination by *Salmonella* in foods: A review. *Food Research International*, 2012; 45(2):545–556.
 37. Gill CO, Jones T. Effects of wearing knitted or rubber gloves on the transfer of *Escherichia coli* between hands and meat. *Journal of food protection*, 2002; 65:1045–1048.
 38. Lariviere-Gauthier G, Quessy S, Fournaise S, Letellier A, Fravallo P. Different types of stainless steel used in equipment in meat plants do not affect the initial microbial transfer, including pathogens, from pork skin. *Canadian journal of veterinary research = Revue canadienne de recherche veterinaire*, 2015; 79(3):255–259.
 39. Ivanek R, Gröhn YT, Wiedmann M, Wells MT. Mathematical model of *Listeria monocytogenes* cross-contamination in a fish processing plant. *Journal of food protection*, 2004; 67(12):2688–2697.
 40. Smid J, de Jonge R, Havelaar AH, Pielaat A. Variability and uncertainty analysis

- of the cross-contamination ratios of salmonella during pork cutting. Risk analysis: an official publication of the Society for Risk Analysis, 2013; 33(6):1100–1115.
41. Van Damme I, Berkvens D, Vanantwerpen G, Bare J, Houf K, Wauters G, De Zutter L. Contamination of freshly slaughtered pig carcasses with enteropathogenic *Yersinia* spp.: Distribution, quantification and identification of risk factors. *International journal of food microbiology*, 2015; 204:33–40.
 42. Warriner K, Aldsworth TG, Kaur S, Dodd CER. Cross-contamination of carcasses and equipment during pork processing. *Journal of Applied Microbiology*, 2002; 93(1):169–177.
 43. FAO. Risk-Based Food Inspection Manual. Rome: Food and agriculture organization of the united nations, 2008.
 44. Nauta M, Barfod K, Hald T, Sørensen AH, Emborg H-D, Aabo S. Prediction of Salmonella carcass contamination by a comparative quantitative analysis of *E. coli* and Salmonella during pig slaughter. *International journal of food microbiology*, 2013; 166(2):231–7.

Appendix A. Values used in the empirical distribution to $J_{i,Ae}$ that is applied to sample the number of interactions between carcass/organ with hands, knife and hook.

Probabilities in columns sum up to 1

Counts	<i>Ae</i>		
	Hand (<i>H</i>)	Hook (<i>G</i>)	Knife (<i>K</i>)
0	0.009	0	0
1	0.009	0.017	0.008
2	0.018	0.483	0.051
3	0.027	0.433	0.034
4	0.152	0.033	0.144
5	0.116	0.017	0.161
6	0.143	0.017	0.169
7	0.134	0	0.161
8	0.161	0	0.059
9	0.045	0	0.068
10	0.098	0	0.051
11	0.009	0	0.000
12	0.018	0	0.034
13	0	0	0
14	0.018	0	0.017

15	0.009	0	0.025
16	0.018	0	0
17	0	0	0.008
18	0	0	0
19	0.009	0	0.008
20	0.009	0	0
21	0	0	0
23	0	0	0

Appendix B

It is assumed that the concentrations on the carcass surfaces before inspection $[C_{i,(S-1)}]$ can be described by a zero inflated lognormal distribution with prevalence p and thus a probability of an uncontaminated carcasses $1-p$. Let $u = \log(x)$ so that $du = \frac{dx}{x}$ and the probability density function $f(x)$ for concentration $[C_{i,(S-1)}]$, can be defined by:

$$f(x) = \begin{cases} p * \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} & x > LOQ \\ p * \int_{LOD}^{LOQ} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{u-\mu}{\sigma}\right)^2} du & LOD < x < LOQ \\ (1-p) + \left(p * \int_0^{LOD} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{u-\mu}{\sigma}\right)^2} du \right) & x < LOD \end{cases}$$

where LOQ and LOD are limits of quantification and detection of *Salmonella*, respectively. Applying this probability density function to each sample u_i for carcass surfaces i in the study from da Silva *et al.*⁽¹⁸⁾, the parameters (μ , σ and p) were assessed by the Maximum Log likelihood estimation using the Solver function in Excel, i.e.

maximizing

$$\sum_{i=1}^n \text{Log } f(x; \mu, \sigma, p)$$

where, i is the carcass number and n is the last carcass sampled.

Appendix C

Consider a system with two compartments E and C in which a sequence of events (in this case the manipulations: cuts, touches or hookings) is defined by the index J , with $J \in \mathbb{N}$ indicating the number of manipulations. Also consider no loss and no increase of units, only transfer is modeled with a given initial condition:

$$E_0 = 100 \text{ CFU}$$

The transfer probability from the compartment E to the C is called q , and it is assumed to be constant through the sequential steps J .

So, the amount on the E compartment after J steps is the amount before the step J minus a fraction q :

$$E_J = E_{J-1} - (E_{J-1} * q)$$

so

$$E_J = E_{J-1} * (1 - q)$$

This applies to J subsequent steps, so.

$$\begin{cases} E_1 = E_0 * (1 - q) \\ E_2 = E_0 * (1 - q) * (1 - q) \\ E_3 = E_0 * (1 - q) * (1 - q) * (1 - q) \dots \\ E_J = E_0 * (1 - q)^J \end{cases}$$

In the stochastic model this is interpreted as a Binomial process, with $N = E_0$ and $p = (1-q)^J$. For example in equation (1), considering the term $(1 - b_{C,Ae})^{J_{i,Ae}}$. It was implemented by sampling values from a Binomial distribution as: $\sim \text{Binomial}(C_{i,(S-1),Ae}; (1 - b_{C,Ae})^{J_{i,Ae}})$ describing the number of cells not transferred from carcass to environment after J interactions.

Using the previous equation we can derive the amount of *Salmonella* in compartment C . Considering the fact that only transfer between two compartments is possible (no die off or growth), the amount in C is the difference between the E_0 and the E_J . Applying it in the previous equations:

$$C_J = E_0 - (E_0 * (1 - q)^J)$$

so

$$C_J = E_0 * (1 - (1 - q)^J)$$

Appendix D. Parameters, baseline, minimum and maximum values used during the univariate sensitivity analyses. See table II for an explanation of the parameter symbols and indices.

Parameters	Baseline (y)	Maximum (y ⁺)	Minimum (y ⁻)	Unit
a _{k-c}	0.17	100	0	%
a _{k-ln}	0.17	100	0	%
b _{c-k}	0.17	100	0	%
b _{ln-k}	0.17	100	0	%
a _{h-c}	0.21	100	0	%
a _{h-ln}	0.21	100	0	%
b _{c-h}	3.1	100	0	%

b_{ln-h}	3.1	100	0	%
a_{g-c}	0.17	100	0	%
a_{g-ln}	0.17	100	0	%
b_{c-g}	0.17	100	0	%
b_{ln-g}	0.17	100	0	%
d	0	100	0	%
ka	10	15	5	cm^2
ha	150	200	100	cm^2
ga	1	3	0.5	cm^2
$\mu \log_{10}[C_{i(S-1)}]$	-5.2	2	-15	$\log_{10}CFU/cm^2$
$\sigma \log_{10}[C_{i(S-1)}]$	2.2	4	0	$\log_{10}CFU/cm^2$
$PrevO_{i(S-1)}$	14.1	100	0	%
$PrevC_{i(S-1)}$	100	100	0	%
$[O_{i(S-1)}]$ Min	0.01	0.1	0.0001	CFU/cm^2
$[O_{i(S-1)}]$ MP	1	100	0.01	CFU/cm^2
$[O_{i(S-1)}]$ Max	100	1000	10	CFU/cm^2

μ = mean; σ =standard deviation; Min= minimum; MP=most likely; Max=maximum values in triangular distribution

Appendix E. Parameter values for scenarios used in multivariate sensitivities analyses.

The scenarios: no transfer and no contamination were omitted

Parameters	Scenarios						
	Baseline	Only carcass (S-1)	Only LN (S-1)	Hand influence		Hand Influence high [$O_{i(S-1)}$]	Hand Influence high $PrevO_{i(S-1)}$
				high $log_{10}[C_{i(S-1)}]$	high $\sigma log_{10}[C_{i(S-1)}]$		
$PrevC_{i(S-1)}$	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%
$PrevO_{i(S-1)}$	14.4%	0%	14.1%	14.1%	14.1%	14.1%	100%
a_{h-c}	0.21%	0.21%	0.21%	10%	10%	10%	10%
b_{c-h}	3.1%	3.1%	3.1%	10%	10%	10%	10%
$\mu log_{10}[C_{i(S-1)}]$	-5.4	-5.4	0	-3	-5.4	-5.4	-5.4
$\sigma log_{10}[C_{i(S-1)}]$	2.2	2.2	0	2.2	3.3	2.2	2.2
$[O_{i(S-1)}]$ Min	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.1	0.01
$[O_{i(S-1)}]$ MP	1	0	1	1	1	10	1
$[O_{i(S-1)}]$ Max	100	0	100	100	100	1000	100

μ = mean; σ =standard deviation; LN=Lymph nodes; Min=minimum; MP= most

probable; Max= maximum values in triangular distribution

Appendix F

Adopting Jongenburger's approach⁽²⁹⁾ the observed prevalence will be a product of the factor l and the modeled prevalence. The value of l can be considered as a probability that at least one sample unit (CFU) is drawn from an inspected area: $l = P(x \geq 0)$. This probability follows as a hypergeometric distribution. Consider four swabs taken with a sponge in fixed and mutually exclusive areas of 100cm^2 on carcass surface ($n=4$). Next, consider the whole carcass area as 14000cm^2 ⁽⁴⁴⁾ represented as a rectangle composed by $N = 14000/100 = 140$ different N areas that can potentially be sampled.

According to the model the total area inspected per carcass during meat inspection is on average 700cm^2 (data not shown), and the number of possible inspected areas sampled is $K = 700/100 = 7$ different areas. The probability that at least one sample is drawn from

the inspected areas is $(1-P(x=0))$ has hypergeometric distribution according:

$$P(x = 0) = \frac{\binom{K}{x} \binom{N-K}{n-x}}{\binom{N}{n}} = \frac{\binom{7}{0} \binom{140-7}{4-0}}{\binom{140}{4}} \approx 81\%$$

So, $1-P(x=0) = 19\%$ is the l factor.

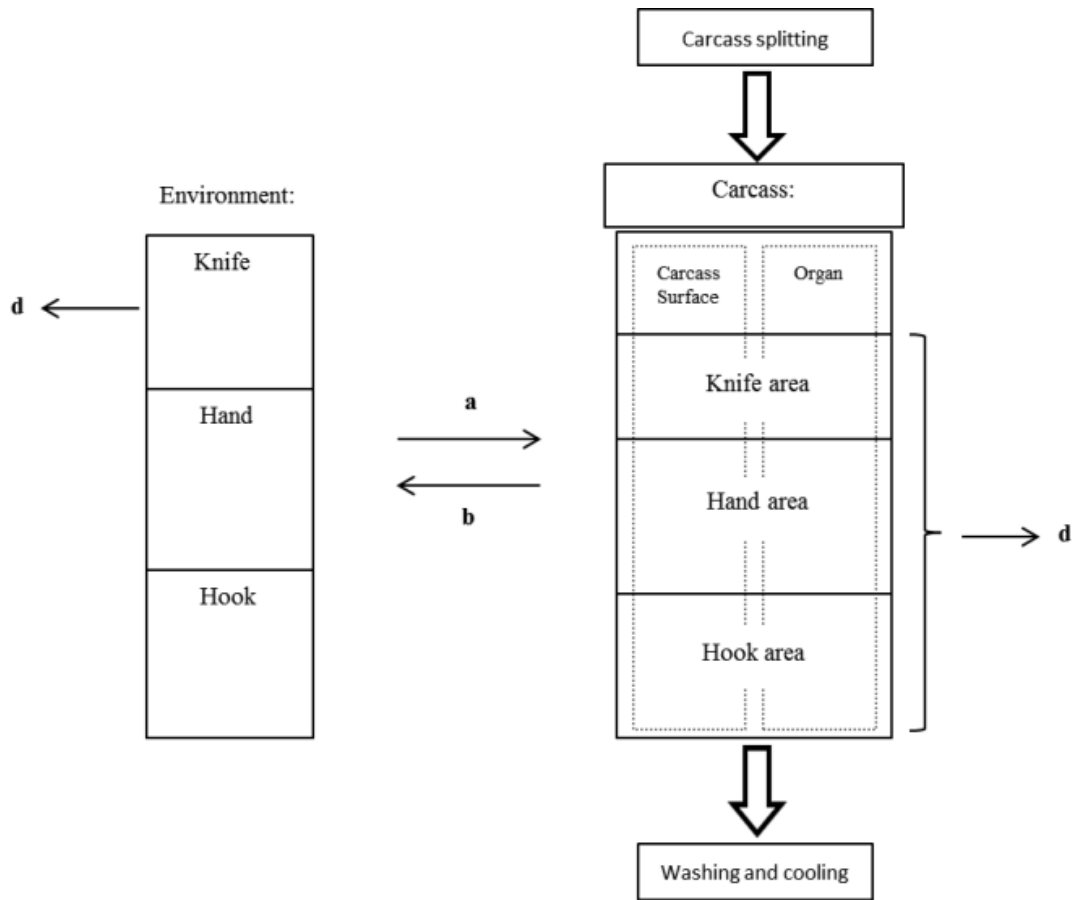


Fig. 1. Schematic representation of the pig carcass inspection. Consecutive carcasses pass through the point of inspection and get in contact with the environmental components, which can lead to cross-contamination via bacterial transfer from the environment to the carcass (arrow *a*) or from the carcass to the environment (arrow *b*). The arrows *d* represent the reduction in the concentration of the bacteria due to inactivation or removal.

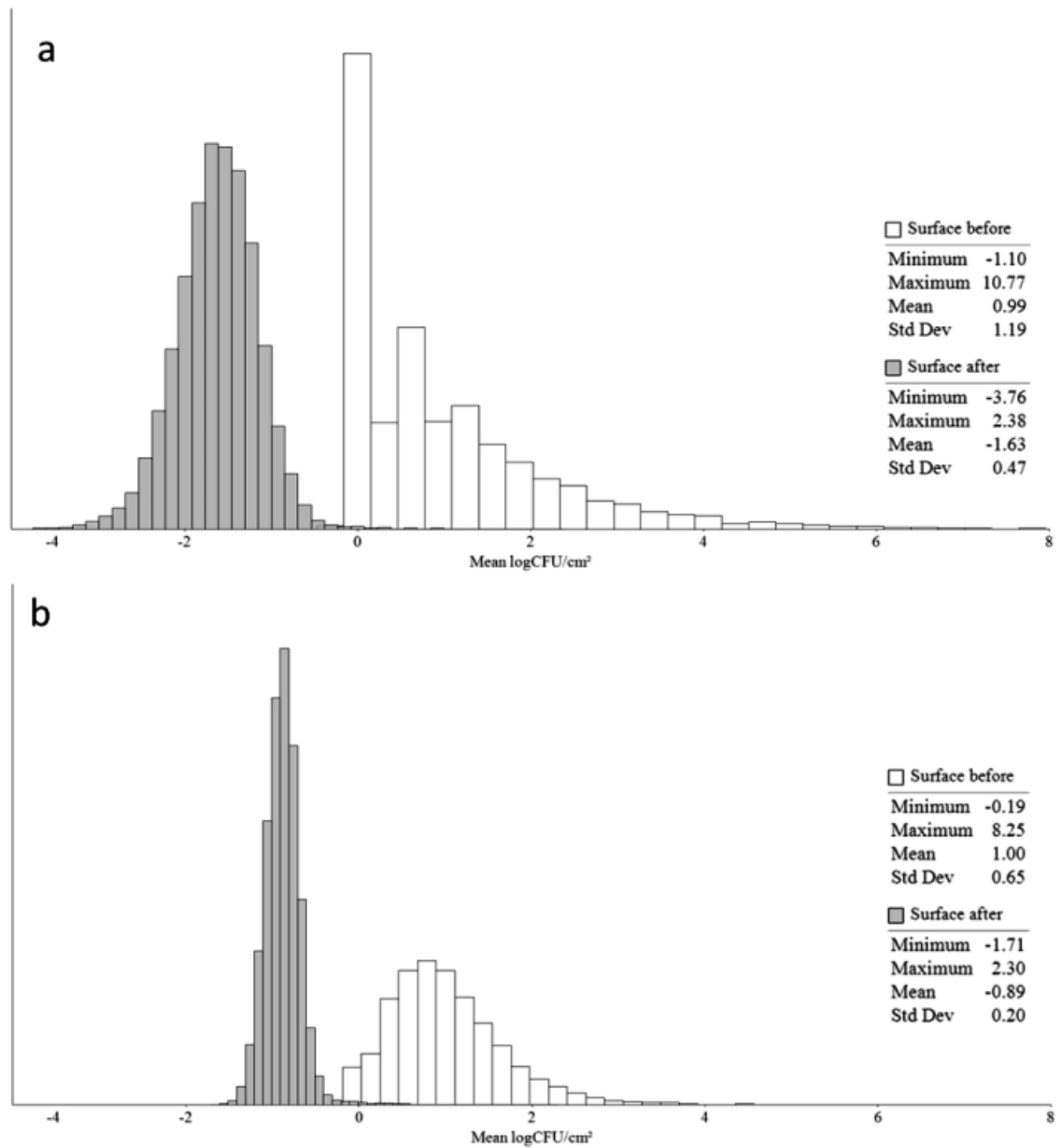


Fig. 2. Distribution of mean carcasses surface contamination (logCFU/cm²) considering only contaminated carcasses before and after inspection in two separated simulations with 100 (a) and 500 (b) carcasses.

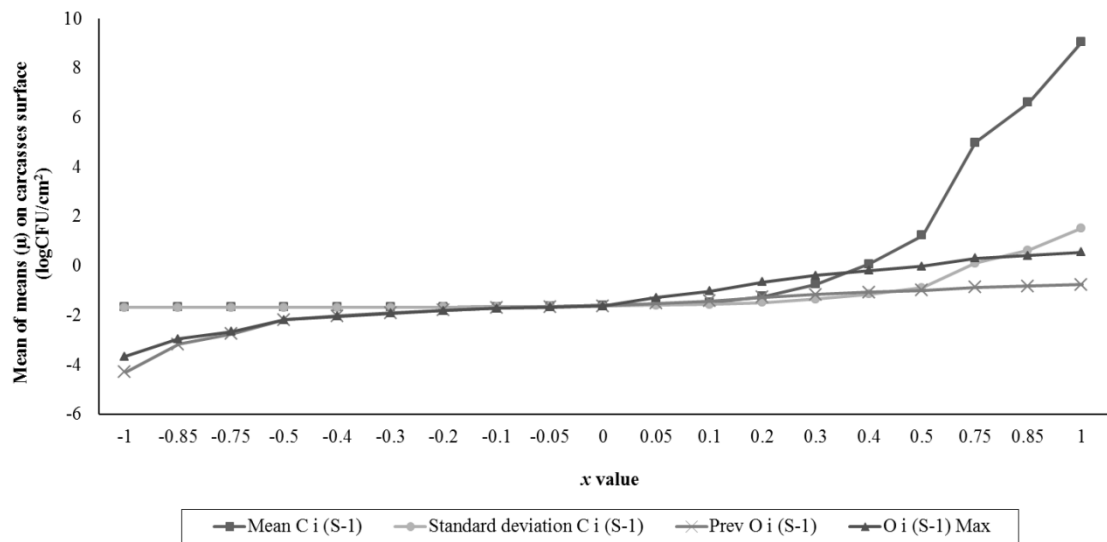


Fig. 3. Mean of the means (μ) logCFU/cm² in in function of different f values regarding the variables mean [$C_{i(S-1)}$], standard deviation of $C_{i(S-1)}$, Prev $O_{i(S-1)}$ and maximum [$O_{i(S-1)}$].

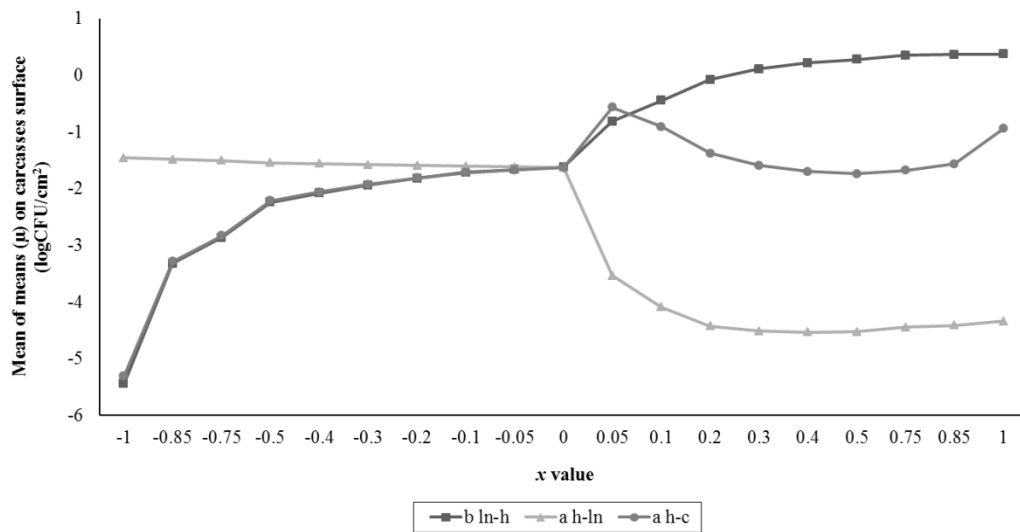


Fig. 4. Mean of the means (μ) logCFU/cm² as a function of different f values regarding the parameters (b_{ln-h}), (a_{h-ln}) and (a_{h-c}).

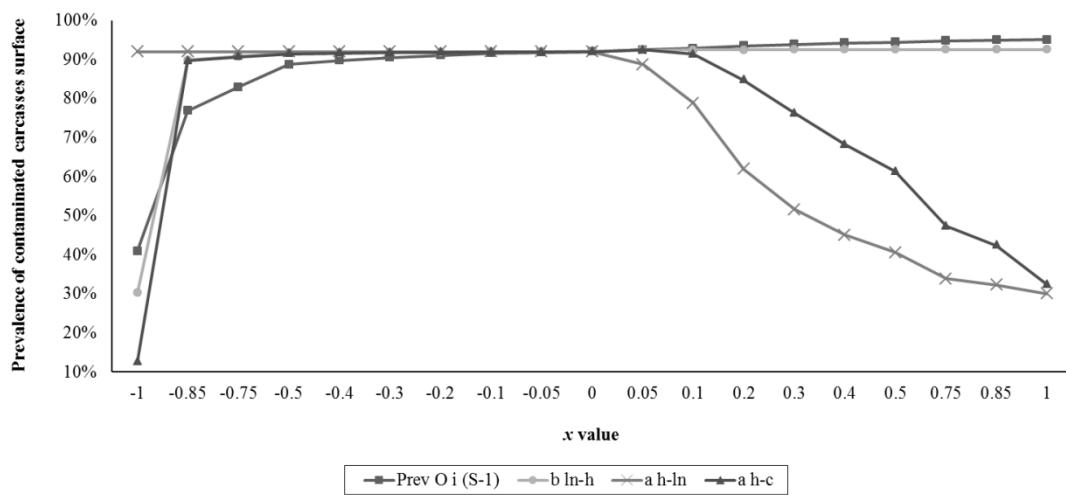


Fig. 5. Prevalence of carcass surface contamination as a function of different f values regarding the variable $Prev O_i$ (S_{-1}) and parameters (b_{ln-h}), (a_{h-ln}) and (a_{h-c}).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A medicina veterinária, em especial a Saúde Pública veterinária são, em sua essência, ramos da biologia aplicada. Sendo assim, os alvos de estudo devem sempre ser reavaliados no intuito de adequar as medidas de controle aos novos desafios impostos pelas alterações inerentes aos processos de evolução da sociedade.

Neste caso a mudança de perfil na produção primária da cadeia de produção de suínos levou a uma atividade altamente tecnificada, denominada como suinocultura industrial intensiva. As mudanças encaradas também levaram a modificação do perfil de perigos ao longo dos anos. A priorização de perigos utilizada neste trabalho ofereceu uma forma sistemática e transparente acerca dos perigos relevantes à saúde pública.

Os perigos de maior risco na avaliação, e conseqüentemente, maior relevância são bacterianos, o que sugere a necessidade de reavaliação do sistema tradicional de inspeção de forma a manejar de forma mais adequada os riscos à saúde pública. Ainda, isto não esgota as possibilidades de futuros trabalhos visando esclarecer ainda mais a interação entre o perfil de perigos e os procedimentos de inspeção de carcaças.

Na Europa, desde 2011, criações de suínos que consigam garantir a rastreabilidade do processo e que adotem sistema confinado podem optar pelo sistema de inspeção visual, em que as carcaças são observadas e se alguma alteração for percebida, há então o desvio para a plataforma de inspeção física, por meio de cortes, palpação e visualização (EFSA, 2011). Apesar destas mudanças, alguns autores ainda afirmam a ausência de informações quantitativas acerca da contaminação cruzada durante os procedimentos de inspeção de carcaças (HILL et al., 2013; RAVEL et al., 2009).

Desta forma, o modelo estocástico proposto para descrever a dinâmica do processo de inspeção sobre a contaminação de carcaças suínas vem ao encontro de preencher as lacunas a serem respondidas no processo de modernização de inspeção, descrevendo os efeitos do sistema clássico sobre a contaminação de carcaças suínas. De acordo com o exemplo utilizado para *Salmonella* sp. a excessiva manipulação e cortes de linfonodos de animais portadores pode amplificar o número de carcaças

contaminadas. Esta relação deve ser principalmente levada em consideração quando se espera um grande número de animais com alta carga bacteriana nos linfonodos.

Com base na priorização dos perigos e com o modelo de contaminação cruzada pode-se, por fim, avaliar o impacto dos procedimentos de inspeção sobre os perigos de maior e menor risco e avaliar a adequabilidade dos atuais procedimentos frente à demanda epidemiológica exposta no trabalho. Os resultados deste modelo deverão ser utilizados como parâmetros em trabalhos posteriores que visem a modelagem das etapas de distribuição e consumo, chegando ao risco quantitativo final atribuível aos métodos de inspeção do serviço veterinário oficial.

REFERÊNCIAS

- ABIPECS. Associação Brasileira de Produtores e Exportadores de Carne Suína. **Relatórios Anuais da ABIPECS 2012/2013**. 2013. Disponível em: http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/relatorios-associados/ABIPECS_relatorio_2012_pt.pdf. Acessado em: 11/08/2016
- ALBAN, L.; STÄRK, K. D. Where should the effort be put to reduce the Salmonella prevalence in the slaughtered swine carcass effectively? **Preventive Veterinary Medicine**, v. 68, p.63-79, 2005.
- ALBAN, et al. Assessment of risk for humans associated with Supply Chain Meat Inspection – The Danish Way. In: SafePork Congress, 8, 2009. Quebec, Canadá. **Proceedings**. Disponível em: <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1863&context=safepork>. Acessado em: 18/08/2016.
- ALBERTON, G. C.; MORES, M., A., Z. Interpretação de lesões no abate com ferramenta de diagnóstico das doenças respiratórias dos suínos. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 36, n. 1, p. 95 – 99, 2008.
- ALI, S. Relinquishment of meat consumption. In: **Meat the opium of the 21st century**. 1 ed., Hamburg: Books on Demand GmbH, 2015, cap. 4, p.136-174 .
- API American Petroleum Institute. API publication 581, “**Risk based inspection – base resource document**”. 2000. Disponível em: <https://inspectioneering.com/tag/api+rp+581>. Acessado em:11/08/2016.
- BARENDS, D. M. et al. Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 64-65, p. 82-86, 2012.
- BIASI, R. et al. Prevalence, strain identification and antimicrobial resistance of Campylobacter spp. isolated from slaughtered pig carcasses in Brazil. **Food Control**, v. 22, n. 5, p. 702-707, 2011.
- BORGEAUD, P. Greek and comparatist reflexions on food prohibitions. In: Frevel e Nihan (Eds). **Purity and the forming of religious traditions in the ancient mediterranean world and ancient judaism**. Leinden, Brill, 2013, v. 3, p.267-287.
- BOTTELDOORN, N. et al. *Salmonella* on pig carcasses: positive pigs and cross contamination in the slaughterhouse. **Journal of Applied Microbiology**, v. 95, p. 891-903, 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº. 30.691 de 29 de março de 1952. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 04 Abr. 1952. Seção 1, p. 5433.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Lei nº. 7.889 de 23 de novembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 24 Nov. 1989. Seção 1, p. 2946.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 711 de 1 de novembro de 1995. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF 03 Nov. 1995. Seção 1, p. 17625

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância Epidemiológica das Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar –VEDTHA. 2011. Disponível em: http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/10_passos_para_investigacao_surtos.pdf. Acessado em: 1/12/2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023 - Projeções de Longo Prazo**. 2013. 96 p.

BRISSON, M.; EDMUNDS, W. J. Impact of model, methodological, and parameter uncertainty in the economic analysis of vaccination programs. **Medical Decision Making**. v. 26, n. 5, p. 433-446, 2006.

BRITTON, T. Stochastic epidemic models: a survey. **Mathematical Biosciences**. v.225, n. 1, p. 24-35, 2010.

BROWN, K. H. et al. use of optimization modeling for selecting national micronutrient intervention strategies: an example based on potential programs for control of vitamin A deficiency in Cameroon. **Food Nutritional Bulletin**. v. 36, 2015.

CAC. Codex Alimentarius Commission. **Animal Food Production**. 2. ed., Roma. World Health Organization. Food and Agriculture Organization of the United States. 2009.

CAC/GL. Codex Alimentarius Comissoin. **Principles And Guidelines For The Conduct of Microbiological Risk Management (MRM)**, 2007. Disponível em: [file:///C:/Users/eduardo.costa.EPILAB08/Downloads/CXG_063e%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/eduardo.costa.EPILAB08/Downloads/CXG_063e%20(6).pdf). Acessado em: 10/08/2016.

CAC/ RCP. Codex Alimentarius Commission. **Code of Hygienic Praticice for Meat**. Rome: FAO, CAC/RCP, 2005.

DELGADO, N. G. **Papel e lugar do rural no desenvolvimento nacional**. 2009. Disponível em: <http://sistemas.mda.gov.br/condraf/arquivos/2036220256.pdf>.

DE JONG, M. C. M. Mathematical modeling in veterinary epidemiology: why model building is important. **Preventive Veterinary Medicine**. v. 25, p. 183-193, 1995.

DIEHL, G. N. Mitos e verdades da carne suína. **Informativo técnico DPA**. Informativo técnico N°03 Ano 02, 2011.

DUFOUR, B. et al. A qualitative risk assessment methodology for scientific expert panels. **Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)**. v. 30, n. 3, p. 673-681, 2011.

D'ALENCAR, S. et al. Influencia do manejo higiênico sanitário na infecção por helmintos gastrintestinais em suínos de granjas tecnificadas e de subsistência abatidos na região metropolitana de recife e zona da mata do estado de Pernambuco, Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.78, n. 2, p. 207-215, 2011.

EDWARDS, D.; JOHNSTON, A.; MAED, G. Meat inspection: an overview of present practices and future trends. **Veterinary Journal**, v. 154, p. 135-147, 1997.

EFSA. European Food Safety Authority. Scientific opinion on public health hazards to be covered by inspection of meat (swine). **EFSA Journal**, v. 9, n. 10, p. 1-198, 2011.

EFSA. European Food Safety Authority. Scientific opinion on risk assessment terminology. **EFSA Journal**. v. 10, n. 5, p. , 2012.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Projetos**. 2016. Revisão e modernização dos procedimentos de inspeção ante e post mortem aplicados em abatedouros frigoríficos de suínos com Inspeção Federal. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/208549/revisao-e-modernizacao-dos-procedimentos-de-inspecao-ante-e-post-mortem-aplicados-em-abatedouros-frigorificos-de-suinos-com-inspecao-federal>. Acessado em: 27/08/2016.

FALAVIGNA-GUILHERME, A. L. et al. Cisticercose em animais abatidos em Sabáudia, Estado do Paraná. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 8, p. 950–951, 2006.

FSIS. Food Safety Inspection Service. **Federal Meat Inspection Act**. 1906. Disponível em: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/USCODE-2014-title21/pdf/USCODE-2014-title21-chap12.pdf>. Acessado em: 11/08/2016.

FSIS. Food Safety Inspection Service. **Public Health Risk-Based Inspection System for Processing and Slaughter. Technical Report**. 2008. Disponível em: http://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/80b289fd-839b-4403-a405-4e854927288e/Processing_Slaughter_Tech_Rpt_041808.pdf?MOD=AJPERES. Acessado em: 11/08/2016.

GANC, A. J.; CORTEZ, T. L.; VELOSO, P. P. A. A Carne suína e suas implicações no complexo teníase-cisticercose. **Revista da Associação Médica Brasileira** (1992. Impresso), v. 52, n.2, p. 16-25, 2006.

HIGGINS, J. P. T.; GREEN, S. (Eds). **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions**. v 5. The Cochrane Collaboration, 2011. Disponível em: www.handbook.cochrane.org. Acessado em: 10/08/2016.

HILL A, et al. A risk and benefit assessment for visual-only meat inspection of indoor and outdoor pigs in the United Kingdom. **Food Control**, v. 30, n. 1, p. 255–264, 2013.

HILLER, A. et al. Implementierung einer risikoorientierten Fleischuntersuchung ohne Anschnitte beim Mastschwein in einem norddeutschen Schlachtunternehmen. **Archiv Für Lebensmittelhygiene**. v.63, p.107–114, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Produção da Pecuária Municipal**. 2011. v. 39. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2011/>. Acessado em: 02/01/2014.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Censo Agropecuário Nacional**. 2012. Disponível em:

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=2z=to=24u1=1u3=1u4=1u5=1u6=1u7=1u2=33>. Acessado em: 04/08/2013.

KICH, J. D. et al. Prevalence, distribution, and molecular characterization of *Salmonella* recovered from swine finishing herds and a slaughter facility in Santa Catarina, Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 151, p. 307-313, 2011.

KOLING, E. Islamic commensality. **Conservative Islam: a cultural anthropology**. Lanham, Lexington Books, 2012, Cap 3, p. 75-111.

LIMA, G. J. M. M. A evolução da suinocultura brasileira nos últimos dez anos. **Animal Business Brasil**, v. 3, n. 12, p. 53-56, 2013.

MARGALLOT, M. Mathematical modeling of natural phenomena: a fuzzy logic approach. In: DA RUAN, P. P. W.; KERRE, E. E. (Eds). **Fuzzy logic: a spectrum of theoretical & practical issues**. Heidelberg: Springer, 2007, p. 113-134.

MENÉNDEZ GONZALES, S. et al. A qualitative risk assessment approach for Swiss dairy products: Opportunities and limitations. **Zoonoses and Public Health**. v. 58, n. 3, p. 209-219, 2011.

MIELE, M.; MACHADO, J. S. Levantamento sistemático da produção e abate de suínos 2006 e 2007. **Documentos/Embrapa Suínos e Aves**. Concórdia, 2007. 29 p.

MIELE, M.; WAQUIL, P. D. Estrutura e dinâmica dos contratos na suinocultura de Santa Catarina: Um estudo de casos múltiplos. **Estudos Econômicos**, v. 37, n. 4, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-41612007000400005>.

MIELE, M. et al. O desenvolvimento da suinocultura nos últimos 35 anos. In: SOUZA, J. C. P. V. B. et al. (Org.). **Sonho, desafio e tecnologia: 35 anos de contribuições da Embrapa Suínos e Aves**. 1. ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011, cap. 3, p. 85-102.

MONTGOMERY, D. C. **Statistical quality control**. 7. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

MORAES, V. G.; CAPANEMA, L. A genética de frangos e suínos – a importância estratégica de seu desenvolvimento para o Brasil. **Agroindústria BNDES Setorial**, v. 35, p. 119-154, 2012. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/BNDES_Setorial/201203_04.html. Acessado em: 22/01/2014.

MURRAY, J. D. **Mathematical biology I: An introduction**. 3. ed. New York: Springer, 2002. 17 v.

NAUTA, M. J.; VAN DER FELS-KLERX, I.; HAAVELAR, A. A poultry-processing model for quantitative microbiological risk assessment. **Risk Analysis**. v. 25, n. 1, p. 85-98, 2005.

OIE. Organização Internacional para a Saúde Animal. 2015. **The Role of Veterinarian at the abattoir**. Disponível em: <http://www.oie.int/for-the-media/editorials/detail/article/the-role-of-the-veterinarian-at-the-abattoir/>. Acessado em: 11/08/2016.

- OLIVEIRA, A. G. B. **Legislação Sanitária no Brasil**. Brasília, DF. 2008. Originalmente apresentado como trabalho de conclusão de especialização em higiene e inspeção de produtos de origem animal, Universidade Castelo Branco.
- PARDI, M. C.; DUARTE, G. G.; ROCHA, U. F. Cisticercose em bovinos e suínos (Análise estatística de dados colhidos pelo SIF nº2, do D.I.P.O.A., do Ministério da Agricultura, junto ao frigorífico Anglo de Barretos, Estado de São Paulo, Brasil). In: Reunião Interamericana de Produção Animal, 2., 1952, Baurú. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2318-5066.v4i4p613-628>.
- PARDI, M. C. **Memória da inspeção sanitária e industrial de produtos de origem animal no Brasil: O Serviço de Inspeção Federal – SIF. Depoimento para a história da Medicina Veterinária do Brasil**. Tomo I. Serviço público Federal. Conselho Federal de Medicina Veterinária. Brasília: Columbia, 1996. 165 p.
- PASQUETTI, E. P. **A competitividade da suinocultura desenvolvida no município de Nova Candelária e sua representatividade no Noroeste do RS**. 2010. 114 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) - Gestão de agronegócios, Universidade do Vale do Rio dos sinos, São Leopoldo, RS, 2010.
- PISSETTI, C. et al. Salmonella enterica and Listeria monocytogenes Detection on Pre-chill Pig Carcasses. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 40, n. 4, p. 107-1079, 2012.
- RAVEL, A. et al. Risk-Benefit Assessment of Hog Mandibular Lymph Node Incision at Slaughter in Canada. **Journal of Food Research**. v. 4, n. 6, 2015.
- RODRIGUES, C. L.; ZIEGELMANN, P. K. Metanálise: Um Guia Prático. **Revista HCPA**. v. 31, n. 4, 2010.
- RODRIGUES, M. L.; VILELA, R. As práticas aparentes de governança e o planejamento sucessório de duas gerações: Família Matarazzo. In: PRADO, R. N. (Coord). **Empresas Familiares: Uma Visão Interdisciplinar**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. cap. 1.
- SARASSA, S. M.; ENGEL, V. Fusão da perdigão e Sadia. In: JORNADA DE PESQUISA ECONÔMICA, 4., 2013 Horizontina, **Publicações**. Disponível em: http://www.fahor.com.br/publicacoes/jopec/2013/Fusao_da_Perdigao_.pdf. Acessado em: 11/08/2016.
- SARCINELLI, M. F.; VENTURINI, K. S.; SILVA, L. C. **Produção de suínos- Tipo Carne**. Boletim Técnico PIE-UFES:00507. 2007. Disponível em: http://www.agais.com/telomc/b00507_carne_suinotipocarne.pdf. Acessado em: 02/03/2015.
- SARGEANT, J. M. et al. The process of systematic review and its application in agri-food public-health. **Preventive Veterinary Medicine**. v. 75, p. 141-151, 2006.
- SARGEANT, J. M.; O'CONNOR, A. M. Introduction to systematic reviews in animal agriculture and veterinary medicine. **Zoonoses and Public Health**. v. 61, n. 9, 2014.
- SCHWARZ P. et al. Ocorrência de surto de tuberculose causada pelo complexo Mycobacterium tuberculosis em uma criação de suínos. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 30, p. 197-200, 2002.

SOBESTIANSKY, J.; BARCELLOS, D. E. S. N. **Clínica veterinária em sistemas intensivos de produção de suínos e relatos de casos clínicos**. 1. ed. Goiânia: Art. 3 Impressos especiais, 2001. 153p.

SUAREZ-ARANDA et al. The prevalence and avidity of *Toxoplasma gondii* IgG antibodies in pigs from Brazil and Peru. **Veterinary Parasitology**, v. 91, p. 23-32, 2000.

SWART, A. N. et al. Modeling of Salmonella contamination on the pig slaughterhouse. **Risk Analysis**. v. 36, n. 3, p. 498-515, 2016.

STILLE, W. T.; GERSTEN, J. C. Tautology in epidemic models. **The Journal of Infectious Disease**. v. 138, n. 1, p. 99-101, 1978.

TOMLIN, C. J.; AXELROD, J. D. Biology by numbers: Mathematical modeling in developmental biology. **Nature Reviews. Genetics**. v. 8, n. 5, p. 331-340, 2007.

USDA. United States Department of Agriculture. **Cattle inspection**. Washington D. C. National Academy Press, 1990.

USDA. United States Department of Agriculture. **Livestock and poultry: World markets and trade**. 2016. Disponível em:
http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.PDF. Acessado em 10/08/2016.

WHO Organização Mundial da Saúde. **FAO/WHO guide for application of risk analysis principles and procedures during food safety emergencies**. Rome. 52 p.

VALENÇA, R. M. B. et al. Prevalência e fatores de risco associados à infecção por *Toxoplasma gondii* em granjas suínolas tecnificadas no Estado de Alagoas. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.31, n.2, p. 121-126, 2011.

VON OSTERTAG, R. **The meat handbook**. New York: Veterinary Publisher and Bookseller, 1904. 966p.