

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

**AVALIAÇÃO DE BIOSSEGURIDADE DE GRANJAS SUÍNAS: CRIAÇÃO E
APLICAÇÃO DE MODELOS PARA ANÁLISE DAS PRÁTICAS DE
BIOSSEGURIDADE EM GRANJAS PRODUTORAS DE SUÍNOS**

GUSTAVO DE SOUSA E SILVA

Porto Alegre

2018

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

**AVALIAÇÃO DE BIOSSEGURIDADE DE GRANJAS SUÍNAS: CRIAÇÃO E
APLICAÇÃO DE MODELOS PARA ANÁLISE DAS PRÁTICAS DE
BIOSSEGURIDADE EM GRANJAS PRODUTORAS DE SUÍNOS**

Autor: Gustavo de Sousa e Silva¹

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

Orientador: Dr. Luis Gustavo Corbellini

Coorientador: Dr. Daniel Correia Lima Linhares

PORTO ALEGRE

2018

¹ Médico Veterinário Msc

CIP - Catalogação na Publicação

Silva, Gustavo de Sousa e
Avaliação de biosseguridade de granjas suínas:
Criação e aplicação de modelos para análise das
práticas de biosseguridade em granjas produtoras de
suínos. / Gustavo de Sousa e Silva. -- 2018.

133 f.

Orientador: Luis Gustavo Corbellini.

Coorientador: Daniel Correia Lima Linhares.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Veterinária, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Porto Alegre,
BR-RS, 2018.

1. Epidemiologia veterinária. 2. Biosseguridade
em granjas de suínos. 3. Teoria da resposta ao item.
4. Múltiplos critérios. 5. PRRSV. I. Corbellini,
Luis Gustavo, orient. II. Linhares, Daniel Correia
Lima, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

GUSTAVO DE SOUSA E SILVA

**AVALIAÇÃO DE BIOSSEGURIDADE DE GRANJAS SUÍNAS: CRIAÇÃO E
APLICAÇÃO DE MODELOS PARA ANÁLISE DAS PRÁTICAS DE
BIOSSEGURIDADE EM GRANJAS PRODUTORAS DE SUÍNOS**

Aprovada em 13 de março de 2018.

APROVADO POR:

Prof. Dr. Luís Gustavo Corbellini
Orientador e Presidente da Comissão

Prof. Dr. David Emilio Santos Neves de Barcellos
Membro da Comissão

Prof. Dr. João Riboldi
Membro da Comissão

Dra. Maria do Carmo Pessoa Silva
Membro da Comissão

AGRADECIMENTOS

À cidade de Porto Alegre e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que me acolheram e onde fui muito feliz durante essa jornada. Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de pesquisa, que foi fundamental para que eu tivesse todo o foco e energia suficiente para realizar um trabalho ao nível das instituições.

À minha família, primeiro agradeço a Deus pela oportunidade de fazer parte dela e a eles agradeço o incentivo contínuo e toda forma de suporte que foram essenciais para que meus sonhos se tornassem realidade. Peço desculpas pela distância e por não ter estado presente em alguns momentos.

À minha esposa Andressa, que abdicou de coisas pessoais para estar ao meu lado nos últimos dois anos e foi fundamental em tudo. Não tenho palavras para agradecer e descrever o quão você é importante na minha vida.

Ao meu orientador, Luís Gustavo Corbellini, agradeço pela orientação, amizade e respeito ao longo desses anos. Muito obrigado por ter sido um orientador questionador, crítico e incentivador, isso foi essencial para que eu crescesse tanto como pessoa quanto como pesquisador.

À minha segunda orientadora, prof.^a Vanessa, agradeço pela amizade, confiança e suporte estatístico-epidemiológico, que foram fundamentais durante este e outros trabalhos realizados.

Ao meu coorientador, Daniel Linhares, agradeço pela amizade, pelo aceite para se unir a nós nessa jornada e por ter tornado possível o período sanduíche que tive a honra de trabalhar na *Iowa State University*. Obrigado por ter feito parte da minha formação como pesquisador e sou admirador da facilidade com que você utiliza os métodos epidemiológicos para investigar problemas e oferecer soluções para a produção de suínos.

Aos amigos do Laboratório de Epidemiologia Veterinária, que durante esses anos me acolheram, o meu muito obrigado pela amizade, pela oportunidade de trabalhar em conjunto nos projetos, pelos momentos de “desconcentração” e pela paciência. Agradeço também as colegas do Departamento de Medicina Veterinária Preventiva, que tive o prazer de desfrutar de muitos momentos agradáveis. Desejo sucesso e felicidade a todos.

Há diversos tipos de curiosidade; uma de interesse, que nos leva ao desejo de aprender o que nos pode ser útil, e outra, de orgulho, que provém do desejo de saber o que os outros ignoram.

Joseph Addison

RESUMO

A indústria suína mudou drasticamente nos últimos anos, trazendo novos desafios sanitários à produção animal. Devido a essas transformações, os protocolos e práticas de biossegurança se tornaram necessários para a prevenção, controle e erradicação dos patógenos nas propriedades. A certificação sanitária de áreas livres de doenças de interesse também se tornou possível através do isolamento das propriedades pelo gerenciamento e realização de práticas de biossegurança comuns, promovendo reconhecimento de áreas livres de doenças de ordem regional e nacional. O presente estudo teve como objetivo obter uma visão macro e representativa das práticas de biossegurança realizadas nas principais agroindústrias do Estado do Rio Grande do Sul e, para tanto, dois métodos foram selecionados para avaliar os programas de biossegurança em duas situações distintas. Na primeira, a Teoria da Resposta ao Item (TRI) foi utilizada para criar um escore para avaliar o nível de biossegurança nas granjas amostradas nas integradoras do RS. Esse método leva em consideração a importância e o nível de discriminação das práticas de biossegurança avaliadas e depois foi testada a associação entre o escore e algumas características das propriedades e dos produtores. O segundo método, a Análise de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDA), foi utilizada para avaliar a vulnerabilidade de granjas suínas nos Estados Unidos da América (EUA) frente a introdução de um patógeno específico, o vírus da síndrome reprodutiva e respiratória suína (PRRSV), levando em consideração a importância relativa de todas as formas de transmissão da doença. Em seguida, o escore de vulnerabilidade criado foi validado em dois bancos de dados onde a relação entre o escore criado e a frequência histórica de surtos da doença foi investigada. Como resultado, verificou-se que nas granjas amostradas no Rio Grande do Sul existe um favorecimento na realização das práticas relacionadas aos procedimentos de manejo em comparação com as demais categorias avaliadas e entre as finalidades de produção avaliadas, as Granjas Reprodutoras de Suínos Certificadas possuem maior frequência de adoção das práticas avaliadas. O emprego da TRI possibilitou a criação de um escore com uma quantidade reduzida de variáveis e identificou as práticas com maior capacidade de discriminar as propriedades em relação ao seu nível de biossegurança. Além disso, foi possível concluir que o nível de biossegurança sofre influência da finalidade de produção da propriedade, da empresa ou agroindústria a qual possui relação comercial, do tamanho do rebanho e do nível educacional do proprietário. O uso do método MCDA demonstrou ser útil para avaliar de forma sistemática as práticas de biossegurança e os eventos de risco associados à introdução do vírus da síndrome reprodutiva e respiratória suína. Os cinco eventos mais importantes associados à introdução do PRRSV, que foram elencados pelos especialistas foram: a introdução de animais de reposição; a entrega de sêmen; a transmissão do agente via ar; o transporte de animais desmamados e a remoção de animais mortos. Uma associação entre o escore de vulnerabilidade e a frequência de surtos da doença foi constatada, sugerindo que quanto maior o escore de vulnerabilidade maior a frequência de surtos da doença. Enfim, conclui-se que através da avaliação das práticas de biossegurança é possível identificar os pontos falhos do sistema de produção e garantir a efetividade dos protocolos que devem ser realizados nas granjas.

Palavras-chave: biossegurança na produção de suínos; vulnerabilidade; teoria de resposta ao item; análise de múltiplos critérios; PRRSV.

ABSTRACT

The swine industry has changed dramatically in recent years, which has led to increased awareness of biosecurity protocols. Due to these transformations, biosecurity protocols and practices have become of paramount importance for the prevention, control and eradication of pathogens in farms. Sanitary certification of disease-free areas has also become possible through the isolation of properties by the management and implementation of common biosecurity practices, promoting recognition of disease-free areas at regional and national levels. The present study aimed to obtain a macro and representative view of the biosecurity practices carried out in the main swine industries of the state of Rio Grande do Sul. Two methods were later selected to evaluate the biosecurity protocols in two different situations. In the first, the Item Response Theory was used to create a score to evaluate the biosecurity level in the farms sampled in the RS swine industries. The method considers the relative importance and level of discrimination of the biosecurity practices evaluated and then the association between the score and some farm and owner characteristics was tested. The second method, the Multi-criteria decision analysis, was used to assess the vulnerability of swine farms in the United States to the introduction of a specific pathogen, the porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV), considering the relative importance of all transmission routes of the disease. Then, the vulnerability score was validated in two databases where the relationship between the score and the frequency of PRRSV outbreaks was tested. As a result, it was verified that in the farms sampled in the RS state there was a trend to perform practices related to the management procedures in comparison with the other categories evaluated. Among the herd types evaluated, the genetic Nucleus herds had a higher frequency of adoption of the evaluated practices. Using the item response theory, the method allowed the development of a score with a reduced number of variables and identified the variables with the greatest capacity to discriminate properties in relation to their biosecurity level. In addition, it was possible to conclude that the biosecurity level was influenced by the herd type, the company or swine industry which has a commercial relationship, the size of the herd and the educational level of the owner. The use of the MCDA method has been shown to be useful for systematically evaluating biosecurity practices and risk events associated with the introduction of the PRRSV. The five most important events associated with the virus introduction listed by the specialists were breeding replacement animals, semen delivery, air transmission, weaned pigs hauled from premises and dead animal's removal. An association between the vulnerability score and the frequency of disease outbreaks was found, suggesting that the higher the vulnerability score the greater the frequency PRRSV outbreaks. Thus, it is concluded through the evaluation of biosecurity practices it is possible to identify the gaps of the production system and ensure the effectiveness of the protocols that must be carried out in the farms.

Keywords: *biosecurity in swine production; vulnerability; item response theory; Multi-criteria decision analysis; PRRSV.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 (Parte 1) – Distribuição espacial do estado do RS (A), mapa de <i>raster</i> descrevendo a distribuição das granjas comerciais no estado (B) e <i>raster</i> da distribuição da população animal das granjas comerciais do estado (C).....	32
Figura 2 (Parte 1) – Distribuição das propriedades amostradas no RS (A) e descrição das amostras por finalidade de produção (B).....	33
Figura 1 (Parte 2: Artigo 1) – Characteristic curve of the item “Staff use clothes and boots provided by the farm”. Biosecurity score: level of the latent trait (biosecurity level). Scale with mean 0 and standard deviation 1.....	77
Figura 2 (Parte 2: Artigo 1) – Information curve ($I(\theta)$) of the biosecurity score derived by IRT analysis. Biosecurity score (θ): intensity of the latent trait. $SE(\theta)$: Standard error (red line). Scale with mean 0 and standard deviation 1.	78
Figura 1 (Parte 3: Artigo 2) – Biosecurity vulnerability score (BVS) and the difference between categories based on the number of PRRS outbreak in the past 5 years.	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 (Parte 1) – Amostragem realizada no estudo para avaliação das práticas de biosseguridade em granjas produtoras de suínos do Estado do Rio Grande do Sul.	31
Tabela 2 (Parte 1) – Estimativa das práticas de biosseguridade relacionadas a segregação e estrutura física.....	35
Tabela 3 (Parte 1) – Frequência das práticas de biosseguridade relacionadas aos procedimentos de limpeza e desinfecção realizados nas propriedades.....	37
Tabela 4 (Parte 1) – Frequência das práticas de biosseguridade relacionadas aos procedimentos de manejo realizados nas propriedades.	39
Tabela 1 (Parte 2: Artigo 1) – Description and summary statistics by category of the biosecurity practices evaluated in the 604 sampled farms from a target population of 3943 farms.....	70
Tabela 2 (Parte 2: Artigo 1) – Variables related to farm and owner characteristics (variables of interest) used to characterize the sample and to evaluate associations with the biosecurity score.....	72
Tabela 3 (Parte 2: Artigo 1) – Descriptive statistics of farms characteristics described in table 2 for the target population according to herd type given the sampled performed in 604 farms.....	73
Tabela 4 (Parte 2: Artigo 1) – Selected variables during the recursive selection process to compose the TRI model to estimate the biosecurity score (latent trait). Below are the estimated parameters (a_i and b_i) and the standard error of each biosecurity practice (item).....	74
Tabela 5 (Parte 2: Artigo 1) – Description of farm characteristics between the farms with estimated biosecurity score below the 10th percentile ($\theta = -1.37$) and above the 90th percentile ($\theta = 1.66$).....	75
Tabela 6 (Parte 2: Artigo 1) – Model results of the relationship between the biosecurity score and farm characteristics. ANOVA was performed for categorical independent variables and linear regression models for continuous variables.....	76
Tabela A (Parte 2: Artigo 1 – Material suplementar) – Definition and classification of the selected biosecurity practices used to evaluate pig farms.....	80

Tabela B (Parte 2: Artigo 1 – Material suplementar) – Descriptive statistics of farms characteristics described in table 2 for farms sampled (n = 604) according to herd type.....	83
Tabela C (Parte 2: Artigo 1 – Material suplementar) – Frequency of biosecurity practices in farms among the best (\geq 90th percentile) and worst scores (\leq 10th percentile) based on TRI scores.	85
Tabela 1 (Parte 3: Artigo 2) – Model framework - Categories of risk events, risk events and carrying agents related to PRRSV introduction into a swine breeding herd.....	110
Tabela 2 (Parte 3: Artigo 2) – Example of comparison matrix to establish the relative importance between the factors using a qualitative scale. Example of an expert’s judgement of the relative importance between the Categories of risk events (CRE) level.. Example of comparison matrix to establish the relative importance between the factors using a qualitative scale. Example of an expert’s judgement of the relative importance between the Categories of risk events (CRE) level.....	112
Tabela 3 (Parte 3: Artigo 2) – Category and risk events related to the bioexclusion practices and the weights obtained from expert opinion.....	113
Tabela 4 (Parte 3: Artigo 2) – Carrying agents related to the risk events and the weights obtained from expert opinion.	114
Tabela 5 (Parte 3: Artigo 2) – Statistical results for comparison of BVS between the PRRS outbreaks categories.	116
Tabela 6 (Parte 3: Artigo 2) – Statistical results between case and control groups in the frequency of PRRS outbreaks in the last 3 years.	116
Tabela 7 (Parte 3: Artigo 2) – Statistical results between case and control groups in the herd vulnerability scores.	116
Tabela A (Parte 3: Artigo 2 – Material suplementar) – AHP weight calculation matrix. An example of the matrix operations performed to obtain the weights from the comparisons using a qualitative scale is described. The process follows 3 steps. Step 1: The sum of each column values is performed (<i>ColSum</i>). Step 2: A standardized matrix is obtained by standardizing each importance value by it respective <i>ColSum</i> (step 1) and then the sum of the values by factor line is performed. Step 3: The weight of each factor is the relative frequency of each factor (Step 2) over the total.	119

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACT	Acordo de Cooperação Técnica
Anova	Análise de variância
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
Epilab	Laboratório de Epidemiologia Veterinária
EUA	Estados Unidos
FA	Febre Aftosa
FUNDESA-RS	Fundo de Desenvolvimento e Defesa Sanitária Animal
GRSC	Granjas Reprodutoras de Suínos Certificadas
IN	Instrução Normativa
ISU	<i>Iowa State University</i> (Universidade Estadual de Iowa)
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MCDA	Análise de Decisão Multicritérios
n.	número
OIE	Organização Mundial de Saúde Animal
PEDV	Vírus da diarreia epidêmica suína
pH	Potencial hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PRRSV	Vírus da síndrome reprodutiva e respiratória suína
PSC	Peste Suína Clássica
RS	Rio Grande do Sul
SEAPI-RS	Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação do Estado do Rio Grande do Sul
TRI	Teoria da Resposta ao Item
UC	Unidades de Creche
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UPL	Unidades Produtoras de Leitões
UT	Unidades de Terminação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. Biosseguridade	15
2.2. Compartimentação	20
2.3. Métodos de avaliação de programas de biosseguridade em granjas de suínos	22
3. OBJETIVOS	25
3.1. Geral	25
3.2. Específicos	25
4. RESULTADOS	26
4.1. Parte 1: Análise descritiva das práticas de biosseguridade realizadas nos sítios de produção de suínos no estado do Rio Grande do Sul	26
4.2. Parte 2: Artigo 1 – Assessment of biosecurity practices and development of a scoring system in swine farms using item response theory	44
4.3. Parte 3: Artigo 2 – Development and validation of a scoring system to assess the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of PRRS virus	88
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
APÊNDICE A - Caracterização da população alvo em relação às empresas participantes e finalidade de produção.	130
APÊNDICE B - Práticas de biosseguridade avaliadas e a caracterização de cada uma quanto a classificação, tipo de transmissão e veículo de transmissão de agentes patogênicos.	131

1. INTRODUÇÃO

Segundo estimativa da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o agronegócio foi responsável por 23% (vinte e três por cento) do Produto Interno Bruto (PIB) do país no ano de 2016 CNA (2017) e, nesse cenário, a produção de suínos tem se destacado, especialmente no Estado do Rio Grande do Sul, onde a suinocultura representa a principal atividade para cerca de 70 mil produtores, gerando aproximadamente 85 mil empregos e trazendo receita ao Estado devido à exportação Hein et al. (2013).

De acordo com dados oficiais, o Brasil figura como quarto maior produtor e exportador mundial de carne suína e o Rio Grande do Sul foi responsável por 20% dessa produção e por 30,41% do volume exportado, o que corresponde a 223 mil toneladas do produto AGROSTAT; MAPA (2018).

Apesar do significativo crescimento na exportação, o consumo de carne suína no mercado interno encontra-se abaixo de 15,0 quilos/habitante/ano, valor este considerado baixo se comparado ao volume produzido no país e à média de consumo global de 22,9 Kg. Entretanto, a expectativa é que esse cenário mude, pois desde o ano de 2006 o consumo brasileiro vem aumentando em 8% ao ano, servindo de incentivo para o aumento do quantum produzido ABPA (2017) e para a uma significativa alteração das dinâmicas da cadeia de produção.

Nesse aspecto, tem-se visto que as preocupações econômicas de aumento de lucro e controle de perdas, aliadas ao desenvolvimento tecnológico, como por exemplo, o uso de linhagens genéticas mais produtivas, mudanças na forma de alojamento dos animais e especialização em sítios específicos de produção, como granjas multiplicadoras de genética, unidades produtoras de leitões, unidades de creche e unidades de terminação, vêm alterando significativamente o modo de produção, favorecendo a migração da produção independente para a integrada, o que tem provocado a redução no número de granjas de suínos e o aumento no tamanho dos rebanhos existentes SANTINI; SOUZA FILHO (2004).

Essas mudanças na cadeia produtiva, no entanto, vêm acompanhadas de novos desafios de ordem sanitária devido à complexa relação entre os sítios de produção hoje utilizados. Isso porque o grande número de animais mantidos em proximidade nas habitações confinadas aumenta a probabilidade de transferência de patógenos e oferece oportunidades para a evolução dos mesmos Otte et al. (2007).

Acredita-se que o número de patógenos emergentes no mundo é crescente, atingindo uma média de 5 (cinco) agentes a cada ano nas últimas décadas Jones et al. (2008). Dessa forma, na produção suína moderna, a prevenção de doenças em nível populacional tornou-se cada vez mais importante nos sistemas de produção, em complementação à medicina individual Noordhuizen; Frankena (1999).

Essa alteração de foco na produção, portanto, tem levado a uma maior conscientização em torno dos programas de biosseguridade, que constituem o conjunto de práticas de sanidade com o objetivo de prevenir a introdução de patógenos exóticos e endêmicos dentro de uma população animal Sobestiansky (2002).

A adoção e o monitoramento de programas de biosseguridade tem se mostrado fundamentais para a mitigação do risco de entrada de patógenos tanto nos sistemas de produção quanto no território nacional. Além disso, a abertura de alguns mercados internacionais está condicionada ao cumprimento de critérios sanitários e à manutenção de *status* de livre para algumas doenças infecciosas e, sob o ponto de vista comercial, a saúde animal é uma das principais barreiras não tarifárias para comércio internacional Souza et al. (2013).

Entretanto, a falta de informação acerca dos moldes sob os quais os sistemas de produção são conduzidos muitas vezes tem se revelado como um entrave nas negociações comerciais, visto que as empresas não conseguem gerar dados comprobatórios relacionados ao controle produtivo e sanitário das suas operações e, conseqüentemente, garantir a segurança de seus produtos sob o ponto de vista de saúde pública (*food safety*, aqui denominado como “alimento seguro”) Souza et al. (2013).

Assim, a fim de melhorar a qualidade da informação e ganhar competitividade comercial, é realmente necessário avaliar detalhadamente os programas de biosseguridade (procedimentos sanitários), tal como se pretende neste trabalho, de modo a encontrar pontos fracos onde exista potencial para melhoria no sistema de produção Backhans et al. (2015).

Além disso, certo é que quando se tem maior controle do sistema produtivo é possível a criação de áreas de compartimentação, onde as práticas de biosseguridade e manejo propiciam a aglomeração de vários sítios de produção, como uma única unidade epidemiológica OIE (2017). Esse conceito é útil para o controle e eliminação de doenças e podem ser utilizados no desenvolvimento de acordos comerciais internacionais Scott et al. (2005). No Estado do Rio Grande do Sul, algumas empresas

já demonstraram interesse na criação de áreas de compartimento visando o comércio internacional.

O projeto de avaliação da biosseguridade em granjas suínas, objeto deste estudo, tem suas bases fixadas na geração de informação técnica, desenvolvimento e aplicação de ferramentas epidemiológicas e de apoio para a tomada de decisão tanto do serviço veterinário oficial quanto da iniciativa privada. O objetivo geral dessa pesquisa é obter uma visão macro e representativa das práticas de biosseguridade realizadas nas principais agroindústrias produtoras de suínos do Estado do Rio Grande do Sul, bem como avaliar ferramentas para análise de programas de biosseguridade para classificar as granjas.

Os resultados da tese são divididos em 3 partes. A primeira descreve o estudo realizado através do Acordo de Cooperação Técnica (ACT)² para avaliar as práticas de biosseguridade realizadas nas granjas produtoras de suínos do Estado do Rio Grande do Sul. A segunda descreve a aplicação de um método para criar um escore de biosseguridade para classificar as granjas baseadas nas práticas de biosseguridade realizadas. Por fim, é descrita a criação e validação de uma ferramenta para avaliação dos programas de biosseguridade em granjas suínas frente a um patógeno específico através da técnica de multicritérios.

² O ACT é um acordo de cooperação técnica entre o Laboratório de Epidemiologia Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Epilab/UFRGS), a Secretária da Agricultura, Pecuária e Irrigação do Estado do Rio Grande do Sul (SEAPI-RS) e o Fundo de Desenvolvimento e Defesa Sanitária Animal do Estado do Rio Grande do Sul (FUNDESA-RS). O papel do Epilab no ACT é o desenvolvimento de projetos de pesquisa, cursos de capacitação dos médicos veterinários oficiais e a realização de acessórias, em projetos demandados pela SEAPI-RS e pelo FUNDESA-RS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Biosseguridade

Biosseguridade é o termo usado para definir as práticas que tem por objetivo reduzir o risco de introdução e disseminação de agentes infecciosos em uma população animal Amass; Clark (1999), evitando a transmissão de doenças de animais (ou populações) infectados para animais (ou populações) susceptíveis Amass (2006).

Sobestiansky definiu programa de biosseguridade como:

O desenvolvimento e implementação de um conjunto de normas e procedimentos, interdependentes e econômicos, que visam reduzir os riscos de introdução de determinados agentes patogênicos infecciosos no sistema, bem como limitar a expressão dos agentes infecciosos já existentes no sistema de produção, que causam elevadas perdas econômicas e/ou interferem na obtenção de um produto final seguro do ponto de vista alimentar Sobestiansky (2002).

A adoção das práticas de biosseguridade constitui o alicerce dos programas de controle, erradicação e manutenção de populações livres de patógenos na produção animal Dewey; Straw (2006). O sucesso na adoção dessas práticas requer um conjunto de atitudes e comportamentos por parte das pessoas envolvidas, com o objetivo de reduzir o risco em todas as atividades que envolvam o contato direto e indireto de patógenos com os animais Food and Agriculture Organization (2010).

A realização dessas práticas ocorre tanto a nível estrutural quanto operacional, onde a parte estrutural está relacionada com a construção de estruturas/barreiras físicas e manutenção das instalações. Já a operacional envolve a gestão e realização das práticas destinadas à prevenção ou redução da pressão de infecção nas propriedades Geiger (2001).

As práticas de biosseguridade podem ser classificadas mais didaticamente em três etapas: 1) práticas externas (bioexclusão, do termo inglês *bioexclusion*); 2) práticas internas (biogestão ou biogerenciamento, do termo inglês *biomanagement*) e 3) práticas de biocontenção (*biocontainment*) Food and Agriculture Organization (2010). Bioexclusão, também conhecida como biosseguridade externa, é definida como ações destinadas a impedir a introdução de um novo patógeno para o ambiente da propriedade. Uma vez que um agente patogênico está presente no plantel, as práticas de biogerenciamento (práticas internas) são utilizadas com o fim de limitar ou evitar a

propagação de patógenos dentro dos setores da propriedade. Já as ações de biocontenção (ou biosseguridade reversa) são destinadas a impedir a disseminação e/ou propagação de agentes patogênicos presentes na propriedade para outros sítios de produção CSHB (2010).

Os fundamentos das práticas de biosseguridade se baseiam em três princípios ou objetivos que destinam-se a mitigar o risco de transmissão de doenças e, por sua vez, reduzir perdas econômicas CSHB (2010). São eles:

- a) *Práticas de segregação e estrutura física da propriedade* – a aplicação de barreiras físicas destinadas a limitar a entrada de agentes patogênicos ou a infecção de animais sensíveis, através do contato com animais, pessoas e fômites contaminados;
- b) *Práticas de limpeza e desinfecção* – limpeza, desinfecção e secagem para remover material orgânico e reduzir a pressão de infecção de patógenos nas instalações e fômites;
- c) *Práticas de manejo* – organização do fluxo de animais, pessoas, veículos e equipamentos para prevenir a contaminação cruzada;

Os benefícios esperados com a adoção de boas práticas de produção e programas de biosseguridade incluem redução ou eliminação de patógenos específicos, redução do uso de antimicrobianos, melhora da produtividade e obtenção de *status* sanitário diferenciado para o rebanho, resultando em subprodutos mais seguros para consumo humano e um ambiente de trabalho mais seguro para os produtores Laanen et al. (2013) e Postma et al. (2015, 2016, 2017) e Ribbens et al. (2008) e Rojo-Gimeno et al. (2016).

2.1.1. Avaliação e gerenciamento de programas de biosseguridade

A avaliação das práticas de biosseguridade a serem realizadas e a elaboração de um programa realmente eficaz constitui uma tarefa complexa em razão da existência de inúmeros patógenos causadores de doenças nos suínos e das diferentes magnitudes dos impactos econômicos e sociais deles decorrentes. Apesar disso, os programas devem basear-se no risco real ao qual o rebanho está exposto, e não no medo do desconhecido ou nas práticas adotadas em outras propriedades vizinhas.

Algumas publicações específicas sobre biosseguridade já elencaram um rol de medidas a serem implementadas para manter o risco mínimo de doenças e os resultados relacionados à influência ou impacto de sua implantação na ocorrência das enfermidades Amass (2006 e Barcellos et al. (2008 e Barceló; Marco (1998 e Casal et al. (2007 e Firestone et al. (2014 e Food and Agriculture Organization (2010 e Moore et al. (2008). Essas recomendações normalmente derivam de várias fontes como o conhecimento prévio, experiências práticas sobre o manejo de doenças infecciosas, senso comum e evidências científicas Amass (2006).

Um estudo realizado nos EUA revisou as recomendações sobre as práticas de biosseguridade realizadas na produção animal presentes em materiais técnico-científicos e encontrou uma ampla variação entre as práticas recomendadas. Os autores concluíram que a quantidade de diferentes recomendações e as divergências entre elas podem causar confusão e desencorajar os produtores e funcionários a implementarem as práticas Moore et al. (2008).

Dentre as publicações relacionadas ao tema, algumas citam os fatores a serem avaliados durante a elaboração e monitoramento dos programas de biosseguridade visando à escolha das práticas direcionadas ao objetivo do programa, evitando subjetividade e investimento desnecessário por parte dos proprietários e responsáveis pela prática diária nas propriedades Amass (2006 e Secure Pork Supply (2017 e Sobestiansky (2002). Dentre os fatores citados, a avaliação da propriedade, a definição do objetivo, a avaliação e gerenciamento direcionado ao risco e monitoramento da eficácia das práticas são tidos como essenciais, razão pela qual são descritos a seguir.

i. Avaliação da propriedade

A caracterização da propriedade quanto ao tipo ou finalidade de produção, localização e densidade de suínos da região, instalações (número de galpões, estrutura física), idade dos animais alojados (possibilidade de contato entre animais de diferentes idades), fluxo de produção na propriedade (movimentação de animais, funcionários e possíveis vetores de transmissão) e a presença de doenças endêmicas no sítio de produção, ajudarão a projetar melhor o programa de biosseguridade Amass (2006 e Amass; Clark (1999).

Além disso, a avaliação das atividades produtivas na propriedade envolvendo outros animais de produção (ex. ruminantes, aves, etc.), seus subprodutos e resíduos

também deve ser considerada devido à probabilidade de contato ou transmissão de patógenos comuns a ambas as espécies Sobestiansky (2002).

ii. Definição do objetivo do programa de biosseguridade

O objetivo do programa de biosseguridade geralmente é definido pelas condições da propriedade e finalidade do sítio de produção. O objetivo geralmente é guiado pelos alvos produtivos, *status* sanitário do plantel, controle de patógenos específicos, disponibilidade de investimento financeiro, percepção de risco a doenças exóticas e critérios mínimos estabelecidos pelas empresas com a qual possuem alguma relação comercial (ex. agroindústrias ou cooperativas) ou órgãos regulamentadores públicos e privados Secure Pork Supply (2017).

iii. Avaliação e gerenciamento direcionado ao risco

Avaliação de risco refere-se à caracterização do risco associado a cada perigo identificado e inclui a avaliação da probabilidade de ocorrência de uma doença e da gravidade de sua ocorrência. Perigo é definido como qualquer agente biológico, químico ou físico ou fator com potencial para causar um efeito adverso para a saúde Grimes; Jackson (2001). O gerenciamento do risco explora as possíveis estratégias de mitigação que serão consideradas para gerenciar qualquer risco residual identificado durante a etapa de avaliação de risco Secure Pork Supply (2017).

O conhecimento do processo de produção de suínos e o gerenciamento do risco biológico dos patógenos identificados nos programas de biosseguridade são essenciais para qualquer atividade na suinocultura, independente do seu tamanho ou finalidade de produção Ramirez; Zaabel (2012). Práticas de biosseguridade são adotadas para quebrar a cadeia de transmissão/infecção dos patógenos e avaliar o risco com base nos aspectos epidemiológicos da doença fornece uma abordagem direcionada, onde, por exemplo, as doenças podem ser agrupadas em rotas de transmissão semelhantes de acordo com o objetivo do programa Vaillancourt; Stringham (2003).

A transmissão de patógenos entre animais e humanos nos sistemas de produção de suínos pode acontecer através de uma variedade de formas e rotas de transmissão. As formas de transmissão acontecem de forma direta (contato com animais infectados) e de forma indireta (contato indireto com materiais contaminados). Animais podem adquirir esses agentes através de aerossóis, contato oral, contato direto, fômites ou vetores. A

exposição de patógenos a suínos pode ocorrer em qualquer um dos métodos mencionados, e, muitas vezes, ocorre por mais de uma maneira Ramirez; Zaabel (2012).

Muitos agentes podem sobreviver por longos períodos em pó ou em matéria orgânica. Este tempo de sobrevivência é específico para cada patógeno e depende de muitos fatores, incluindo temperatura, exposição à luz, umidade e pH ambiental. Embora a contaminação ambiental não seja uma via de transmissão conceitualmente definida, ela deve sempre ser considerada ao desenvolver um programa de biossegurança Amass (2005). O risco de transmissão das doenças não pode ser totalmente eliminado, mas a atenção dada ao gerenciamento de risco biológico direcionado aos pontos críticos nas propriedades pode reduzir a probabilidade de entrada dos patógenos e suas consequências.

iv. Monitoramento da eficácia das práticas

Depois de implantados, os programas devem ser monitorados para avaliar sua eficácia e a efetiva realização por parte dos funcionários (*compliance*). Nesse ponto, o treinamento e a proatividade se revelam fundamentais para o êxito do programa, tanto quanto à infraestrutura e o *layout* das instalações Geiger (2001).

Eficácia, neste contexto, pode ser definida como a capacidade de alcançar o efeito esperado ou desejado (controle, erradicação ou prevenção das doenças) pela realização de um programa de biossegurança Amass (2006). A eficácia dos programas deve ser avaliada comparando os resultados entre o antes e o depois da adoção das práticas. A eficácia também deve ser quantificada através da avaliação de índices sanitários (ex. incidência da doença, mortalidade, refugagem), melhoria de desempenho ou produtividade do rebanho, monitoramento de rebanho (clínico, sorológico e necropsia) e também através das monitorias de abate (ex. monitorias de lesões pulmonares) Sobestiansky (2002).

Cabe salientar que a gestão da biossegurança envolve também a avaliação crítica do processo de produção de suínos e a identificação de falhas ou eventos de riscos na produção. Durante a ocorrência de um evento adverso (ex. surto de uma doença infecciosa), a gestão envolve o planejamento da investigação epidemiológica, reconhecimento das falhas do processo e correção dos eventos associados à falha. Sendo assim, apesar de complexos, os programas de biossegurança são fundamentais para a longevidade e consequente rentabilidade da produção de suínos.

2.2. Compartimentação

Normalmente, o comércio entre países pode ser estabelecido mesmo com a ocorrência endêmica de doenças em um ou em ambos os países e geralmente é feito através do processo de zoneamento ou regionalização. Este conceito baseia-se em limites geográficos e não fornece acesso comercial a partes da indústria em áreas geográficas que não podem ser consideradas livres da doença mesmo que suas medidas de gerenciamento e biosseguridade reduzam substancialmente ou eliminem o risco de doença OIE (2017).

O conceito de compartimentação foi introduzido no Código de Saúde dos Animais Terrestres (*Terrestrial Animal Health Code*) da OIE (Organização Mundial de Saúde Animal) como forma alternativa de lidar com doenças e agentes patogênicos em populações animais sem interromper desnecessariamente o comércio entre países Scott et al. (2005). Embora o zoneamento se aplique a uma subpopulação animal definida principalmente por critérios geográficos (usando limites naturais, artificiais ou legais), a compartimentação aplica-se a uma subpopulação animal definida principalmente pelo gerenciamento e adoção de práticas de biosseguridade OIE (2017). Na prática, as considerações espaciais e um bom gerenciamento, incluindo os programas de biosseguridade, desempenham papéis importantes na aplicação de ambos os conceitos.

O princípio racional da criação de áreas de compartimento se baseia na manutenção e comprovação de um *status* sanitário para a doença de interesse a partir do isolamento das propriedades pela realização de práticas de biosseguridade, oferecendo garantias adicionais que minimizam o risco de introdução e disseminação das doenças alvo do compartimento, mesmo em momentos de emergências sanitárias em áreas próximas. Assim, as unidades compartimentadas poderiam manter seu *status* de livre de infecção, mesmo estando localizados em uma área onde existe a ocorrência de determinadas enfermidades e, portanto, assegurando a continuidade do comércio internacional entre os países Scott et al. (2005).

O benefício esperado com a criação de áreas de compartimentação em empresas ou agroindústrias produtoras de suínos, seria a manutenção do acesso a mercados internacionais, bem como o acesso a novos mercados internacionais mediante comprovação documental técnica do *status* do compartimento. Um exemplo da realidade brasileira é o *status* do estado do RS frente à Febre Aftosa. Atualmente, o estado possui o *status* de livre da doença com vacinação que é um fator determinante

para a não aceitação da carne bovina e suína gaúcha em alguns países que não reconhecem o princípio da regionalização ou zoneamento. Em termos técnicos, o embargo às exportações de carnes brasileiras e, em alguns casos, gaúchas, devido ao problema de febre aftosa, afetam as vendas externas de carne bovina e suína *in natura* BRAUN et al. (2008). Nesse contexto, é importante a avaliação e identificação das similaridades entre os sistemas de produção, neste caso o suíno, visando a possibilidade da implantação de áreas de compartimentos entre as indústrias exportadoras de carne.

Visando esta possibilidade, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) regulamentou e estabeleceu em 2014 as normas técnicas de Certificação Sanitária da Compartimentação da Cadeia Produtiva Avícola das granjas de reprodução, de corte e incubatórios, de galinhas ou perus, para a infecção pelos vírus de influenza aviária (IA) e doença de Newcastle (DNC), por meio da Instrução Normativa (IN) n° 21, de 21 de outubro de 2014 Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2014).

Recentemente, devido a esforços das associações das indústrias e produtores de suínos, o MAPA estabeleceu as normas para a Certificação Sanitária da Compartimentação da Cadeia Produtiva de Suínos, quanto à exposição aos vírus da Febre Aftosa (FA) e da Peste Suína Clássica (PSC), por meio da IN n° 44, de quatro de dezembro de 2017 Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2017). A certificação tem por finalidade reconhecer e atestar a situação sanitária em subpopulação de suínos por meio da adoção de procedimentos de biossegurança, vigilância epidemiológica, supervisões e auditorias.

A partir desta regulamentação, as empresas interessadas poderão solicitar, em caráter voluntário, a obtenção da certificação sanitária de compartimento livre das doenças citadas, a partir do cumprimento das normas e requerimentos necessários. Um detalhe a ser ressaltado é que cabe ao país comprador reconhecer a certificação e validade do compartimento, ou seja, não necessariamente com a certificação reconhecida pelos órgãos sanitários brasileiros (MAPA e serviços veterinários estaduais) as empresas terão acesso a mercados internacionais mais rigorosos.

2.3. Métodos de avaliação de programas de biossegurança em granjas de suínos

Devido à complexidade de se avaliar os programas de biossegurança em sistemas intensivos de produção de suínos, vários métodos têm sido desenvolvidos nos últimos anos com o objetivo de evidenciar os benefícios econômicos relacionados à adoção das práticas de biossegurança Holtkamp et al. (2011) e Laanen et al. (2010) e Pinto; Urcelay (2003) e Van Steenwinkel et al. (2011). Esses métodos se baseiam, em sua grande maioria, na construção de escores para quantificar os níveis de biossegurança e geralmente são obtidos de formas diversas.

Dentre as mais comuns estão: o somatório das práticas avaliadas Casal et al. (2007) e Zhang et al. (2013), a classificação das práticas e o posterior ranqueamento por pesos Laanen et al. (2011) e Zang et al. (2012), e uso de técnicas multivariadas como análise fatorial, análise de correspondência múltipla e análise fatorial múltipla Boklund et al. (2004) e Casal et al. (2007) e Costard et al. (2009) e Ribbens et al. (2008). As técnicas de análise multivariada exploratórias vêm sendo utilizadas para investigar essas práticas em granjas de suínos, devido à sua capacidade de extrair informações-chaves e, de uma maneira menos complexa, entender as relações entre as variáveis Bottoms; Poljak; Dewey; et al. (2013) e Bottoms; Poljak; Friendship; et al. (2013) e Relun et al. (2015).

A seleção do método utilizado e das variáveis para compor os modelos geralmente está relacionada à característica da variável de interesse, neste caso, o nível de biossegurança. O nível de biossegurança se trata de uma variável latente, em outras palavras, apresenta uma característica que não se pode ser medida ou mensurada diretamente e que é formada pela observação ou mensuração de um conjunto de variáveis secundárias que juntas irão quantificá-la. Aqui se encontra o maior desafio quando se tenta quantificar a biossegurança. Nos dias atuais, as maiores críticas e complexidade dos métodos utilizados estão relacionadas à utilização de longos questionários, à grande quantidade de variáveis correlacionadas entre si Canon et al. (2015) e Dean (2015) e à atribuição de pesos de forma subjetiva ou sem sustentação científica para as práticas Laanen et al. (2010) e Zang et al. (2012).

Devido a essas dificuldades, o uso de métodos utilizados em outras áreas do conhecimento pode auxiliar na criação de ferramentas para avaliar a biossegurança. Técnicas difundidas na psicometria para medir variáveis latentes e criar escalas de avaliação podem auxiliar na construção de escores de biossegurança, e um desses

métodos é a teoria da resposta ao item (TRI). Outro método que também pode ser utilizado para auxiliar no processo de tomada de decisão e comum em outras áreas de conhecimento é Análise de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDA), onde vários fatores (critérios) são identificados, avaliados, e integrados às avaliações individuais com o objetivo de gerar informação para auxiliar em algum processo de decisão.

2.3.1. Teoria da resposta ao item (TRI)

A TRI trata-se de um conjunto de modelos matemáticos probabilísticos que propõe métodos para avaliar traços latentes, ou seja, avaliar características do indivíduo que não podem ser observadas diretamente Embretson; Reise (2000). Esse tipo de variável deve ser inferido a partir da observação de variáveis secundárias que estejam relacionadas a ela. O que esta metodologia sugere são formas de representar a relação entre a probabilidade de um indivíduo dar resposta certa a um item e seus traços latentes, proficiências ou habilidades na área de conhecimento avaliada Andrade et al. (2000).

Uma das grandes vantagens da TRI sobre a Teoria Clássica é que ela permite a comparação entre populações, desde que submetidas a provas que tenham alguns itens comuns, ou ainda, a comparação entre indivíduos da mesma população que tenham sido submetidos a provas totalmente diferentes. Isto porque uma das principais características da TRI é que ela tem como elementos centrais os itens, e não a prova como um todo Andrade et al. (2000). Esses modelos têm como principal característica incorporar o grau de severidade de cada item/resposta, avaliando o peso de cada variável ou item avaliado e sua importância, evitando o uso de pesos subjetivos para as variáveis Van Der Linden (2010).

Fazendo um paralelo da definição da TRI ao objetivo do presente estudo, o de avaliar o nível de biossegurança das granjas, o método gera um escore de classificação das propriedades (*output*) em relação ao nível de biossegurança, exclusivamente pela avaliação das práticas realizadas nas propriedades e as probabilidades de que as propriedades realizem tais práticas. Depois de obtido o escore é possível avaliar associações entre o nível de biossegurança e outras variáveis de interesse, podendo ser características das propriedades e proprietários, índices produtivos e sanitários.

2.3.2. Análise de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDA)

A análise de decisão por múltiplos critérios é uma técnica simples e transparente que ajuda a estruturar o problema e consegue integrar e analisar, conjuntamente, diversos critérios ajudando os gestores na tomada de decisão Belton; Stewar (2002). A MCDA tem sido utilizada no campo veterinário principalmente para a priorização de doenças Brookes et al. (2014 e Cox et al. (2013), identificação de áreas de risco Arsevska et al. (2016 e Santos et al. (2017) e, até mesmo, para a avaliação de sistema nacional de vigilância animal East et al. (2013). A MCDA envolve três princípios: 1) a padronização dos valores dos dados, 2) a ponderação dos critérios e 3) a regra de combinação Belton; Stewar (2002).

O primeiro passo da análise é definir o objetivo do estudo. Como exemplo, Santos *et al.* utilizou a MCDA para identificar áreas de risco para ocorrência do vírus da febre aftosa no RS Santos et al. (2017). Após definido o objetivo, deve-se partir para a etapa da escolha das variáveis para fazer parte do modelo. No estudo citado anteriormente Santos et al. (2017), as variáveis escolhidas estavam relacionadas aos fatores de risco relacionados a introdução e disseminação do vírus da FA no estado do RS. Posteriormente, de forma eletiva, os critérios podem ser ponderados, caso tenham importância diferenciada na análise Belton; Stewar (2002). Dentre as técnicas para realizar essa ponderação dos critérios, o Processo Hierárquico Analítico Saaty (1977) utiliza a opinião de especialistas para realizar a valoração relativa dos critérios.

A última etapa da MCDA está relacionada com a regra de combinação dos critérios. Após a padronização e ponderação dos mesmos, deve-se optar pela melhor forma de integrá-los Santos (2016). A criação de um método próprio de combinação de critérios da MCDA é outra opção para a combinação e tem sido utilizada em estudos na área da veterinária East et al. (2013).

Visto que um dos objetivos do estudo foi a aplicação de métodos para avaliar programas de biossegurança em granjas suínas, a MCDA foi utilizada para criar um escore de vulnerabilidade em granjas suínas frente a introdução ao vírus da síndrome reprodutiva e respiratória suína (PRRSV), levando em consideração a importância relativa de todas as formas de transmissão da doença. O estudo foi desenvolvido durante o período de doutorado sanduíche sob a orientação do Dr. Daniel Correia Lima Linhares e realizado na *Iowa State University* (ISU, Universidade Estadual de Iowa).

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

3.1.1. Avaliar as práticas de biosseguridade em granjas produtoras de suínos;

3.2. Específicos

3.2.1. Estimar a frequência de adoção das práticas de biosseguridade em diferentes sítios de produção de agroindústrias do estado do RS (parte 1);

3.2.2. Criação e aplicação de modelos para classificar as granjas quanto as práticas de biosseguridade:

3.2.2.1. TRI: criação de um índice de biosseguridade para classificação das granjas (parte 2);

3.2.2.2. MCDA: criação de um ranking para avaliar a vulnerabilidade nos programas de biosseguridade de granjas produtoras de leitões nos Estados Unidos (EUA) quanto introdução de PRRSV (parte 3).

4. RESULTADOS

4.1. Parte 1: Análise descritiva das práticas de biosseguridade realizadas nos sítios de produção de suínos no estado do Rio Grande do Sul³

³ Resultados de um estudo realizado no âmbito do projeto de extensão da UFRGS no. 19352 intitulado “Capacitação, implantação e desenvolvimento de ferramentas epidemiológicas para utilização na defesa sanitária agropecuária”. O projeto foi financiado pelo FUNDESA por meio de um contrato celebrado entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, FAURGS e FUNDESA.

INTRODUÇÃO

A presente análise descritiva faz parte do projeto “ANÁLISE DE BIOSSEGURIDADE DE GRANJAS SUÍNAS”, ligado ao Acordo de Cooperação Técnica (ACT) entre o Laboratório de Epidemiologia Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Epilab/UFRGS) e o FUNDESA, que teve como objetivo descrever a estrutura e as práticas de biosseguridade adotadas nos sítios de produção de suínos nas principais agroindústrias⁴ do Estado do Rio Grande do Sul e avaliar oportunidade de melhoria nas práticas de biosseguridade adotadas nas granjas do Estado.

MATERIAS E MÉTODOS

Amostragem

Participaram da amostragem as agroindústrias (empresas) indicadas pelo Fundo de Desenvolvimento e Defesa Sanitária Animal (FUNDESA-RS), e por motivo de confidencialidade serão referenciadas como A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9 e A10. As granjas (propriedades) foram sorteadas a partir de um banco de dados das propriedades registradas na Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação do estado do Rio Grande do Sul (SEAPI-RS) no ano de 2015. A caracterização do total de granjas da população alvo em cada empresa e finalidade de produção é descrita na forma de uma tabela como Apêndice A. Segundo os dados da SEAPI-RS, as granjas que participaram do sorteio representam 75% do total das propriedades produtoras de suínos do RS.

Para estabelecer o número de propriedades do estudo foi realizada uma amostragem em dois estratos. Primeiramente foi realizado um cálculo para uma amostra aleatória simples (equação 1) para estimar o número de propriedades necessárias para realizar a amostragem. Os parâmetros para essa etapa foram relacionados com a intenção de um valor esperado em que 50% das propriedades possuam um bom nível de biosseguridade, um erro absoluto de 1%, um nível de confiança de 95% e uma adição

⁴ Agroindústria - é o conjunto de atividades relacionadas à transformação de matérias-primas provenientes da produção de suínos. É um tipo de seguimento da cadeia produtiva que vai desde o fornecimento de insumos agrícolas até o consumidor final. As grandes empresas privadas do setor da suinocultura, como por exemplo BRF e JBS, assim como as cooperativas, por exemplo COSUEL, são consideradas agroindústrias, no entanto possuem um sistema diferente de divisão dos lucros e participação dos integrados ou cooperados.

no número de propriedades em 15% sobre a amostragem final com objetivo de diminuir as eventuais perdas durante o processo de coleta das informações nas propriedades. Seguindo tais critérios, foram necessárias 600 propriedades para a realização do estudo.

$$n = \frac{N * p * q * (Z_{\alpha/2})^2}{(N-1) * (E^2) + p * q * (Z_{\alpha/2})^2} \quad (\text{Equação 1})$$

onde: n – tamanho da amostra; N – tamanho da população (finita) = número de propriedades; p – proporção de resultados favoráveis da variável na população = 50% ou 0,5; q – proporção de resultados desfavoráveis na população ($q=1-p$); $Z_{\alpha/2}$ – valor crítico para o grau de confiança desejado = 1,96 (95%); E – erro padrão = $\pm 1\%$ da proporção dos casos (precisão absoluta).

Nas agroindústrias a produção de suínos destinados ao comércio (abate) é realizada de forma especializada, onde cada propriedade é responsável por uma fase de produção, que é denominado como sítio de produção. Esses sítios de produção possuem finalidades de produção diferentes dentro da cadeia, atualmente as finalidades ou fases de produção encontradas na suinocultura são:

- 1) Granjas Reprodutoras de Suínos Certificadas (GRSC): granjas que realizam a comercialização e distribuição, no território nacional, de suínos destinados à reprodução;
- 2) Unidades produtoras de leitões (UPL): granjas que realizam a produção de animais destinados ao abate (leitões comerciais) até o fim da fase de maternidade ou desmame (geralmente realizado entre 21 a 28 dias de idade dos leitões);
- 3) Unidades de Creche (UC): granjas que recebem os leitões desmamados provenientes das UPL e alojam esses animais por até 70 dias;
- 4) Unidades de Terminação (UT): granjas que alojam os animais provenientes das UC até o abate (150 a 170 dias de vida);
- 5) Granjas de ciclo completo: granjas que possuem em uma mesma unidade de produção as fases de produção de leitão, creche e terminação.

Além das finalidades de produção citadas acima, porém não contemplada na amostragem, atualmente algumas agroindústrias e empresas que realizam comercialização de linhagens genéticas possuem as Unidades Disseminadoras de Genes (UDG). Essas unidades têm por objetivo a venda ou distribuição de sêmen de alto valor genético para as unidades de produção que possuem a fase de reprodução (GRSC's, UPL's e granjas de ciclo completo).

Antes de realizar o sorteio das propriedades a serem amostras, a finalidade de produção (n=5) e empresas (n=10) foram utilizadas como variáveis estratificadoras com o objetivo de manter a mesma proporção entre cada finalidade de produção e sua respectiva agroindústria na população alvo. O número de amostras (n = 600) foi dividido em relação à frequência percentual do efetivo de propriedades de cada agroindústria em finalidade de produção (1 – Granjas GRSC; 2 - Unidade Produtoras de Leitões – UPL; 3 – Unidade de Creche – UC; 4 - Unidade de Crescimento/Terminação – UT; 5 - Ciclo Completo). Nas finalidades de produção GRSC e Ciclo Completo foi realizado um censo devido ao baixo número de propriedades e da importância destas finalidades para o sistema de produção. As GRSC que participaram do estudo são unidades produtoras de leitões. O sorteio das propriedades foi realizado utilizando o software R versão 2.8 e o pacote *sampling*.

A descrição espacial das propriedades amostradas foi realizada através do software QGIS 2.18.7. As informações para confecção dos *rasters* de densidade do número de granjas comerciais de suínos e da população animal destas granjas foram criadas usando um raio de 50 quilômetros e foram fornecidas pela SEAPI-RS.

Questionário epidemiológico e classificação das práticas de biosseguridade

O questionário epidemiológico foi construído durante o ano de 2014 e a escolha das questões para compor o questionário foi estabelecida após extensa revisão de literatura e resultados descritos em artigos científicos relacionados ao tema (AMASS; CLARK, 1999; AMASS, 2005, 2006; BACKHANS et al., 2015; BARCELLOS et al., 2008; BOKLUND et al., 2004; CASAL et al., 2007; CSHB, 2010; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2010; SIMON-GRIFÉ et al., 2013; SOBESTIANSKY, 2002).

O questionário contemplou perguntas relacionadas aos seguintes itens: práticas de biosseguridade externa, práticas de biosseguridade interna, tipo de destino dos dejetos e animais mortos, origem da água, gestão de doença, alimentação animal, localização da propriedade e características dos manejos de cada finalidade de produção. Por fim, um *check-list* foi conferido pelo aplicador do questionário após inspeção visual de algumas estruturas da propriedade. O questionário foi previamente validado e testado em 17 propriedades com o objetivo de melhorar o seguimento da entrevista, bem como adicionar ou retirar perguntas com alta correlação, identificadas em análises pós-aplicação.

Para a realização das análises que serão descritas foram utilizadas 35 práticas de biosseguridade, que visavam avaliar os pontos mais vulneráveis dos programas. Como Apêndice B está descrita a tabela com as práticas e sua respectiva forma e veículo de transmissão de agentes patogênicos. As práticas foram classificadas de acordo com a classificação abaixo (adaptado de CSHB, 2010):

- a) *Práticas de segregação e estrutura física da propriedade* – a aplicação de barreiras físicas destinadas a limitar a entrada de agentes patogênicos no ambiente ou a infecção de animais sensíveis;
- b) *Práticas de limpeza e desinfecção* – limpeza, desinfecção e secagem para remover material orgânico e reduzir a pressão de infecção de patógenos;
- c) *Práticas de manejo* – organização do fluxo de animais, pessoas e equipamentos para prevenir a contaminação cruzada;

Treinamento e aplicação do questionário epidemiológico

Para coletar as informações contidas no questionário, foi realizada a avaliação *in locu* de cada propriedade amostrada. A coleta das informações foi realizada por médicos veterinários da SEAPI-RS previamente treinados (curso de 8hs) e por uma equipe do Epilab, durante o segundo semestre do ano de 2015 até o fim do primeiro semestre de 2016. O treinamento dos aplicadores foi realizado na forma de palestra, avaliação detalhada do questionário e foi realizada a simulação da entrevista e aplicação do questionário entre os participantes do treinamento.

Estimativa das práticas de biosseguridade

As práticas avaliadas no trabalho são todas dicotômicas, onde a realização da prática tem valor um (1) e sua ausência tem valor zero (0). A frequência de cada prática de biosseguridade é obtida a partir da soma das respostas de cada prática dividida pelo total de respondentes em cada prática.

Como foi realizada uma amostragem planejada em uma população de granjas previamente conhecida e em decorrência da divisão das amostras em duas variáveis estratificadoras (finalidade de produção e empresa), os pesos amostrais referentes a divisão das granjas entre empresas e finalidades de produção foram utilizados para fazer a estimativa de cada prática de biosseguridade (frequência de adoção) na população alvo. Para isso, o software R versão 3.3.3 e o pacote estatístico *survey* foi utilizado para obter as estimativas das práticas da população.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliadas 604 propriedades e a tabela 1 descreve a amostragem realizada e o número de granjas coletadas por empresa e por finalidade de produção. Do total amostrado, 28.5% corresponde às unidades produtoras de leite (UPL), 29.1% são unidades de creche (UC), 32.8% são unidades de terminação (UT) e 58 propriedades (9.6%) foram oriundas do censo realizado nas finalidades de produção, sendo 6.8% GRSC e 2.8% Ciclo Completo.

Tabela 1. Amostragem realizada no estudo para avaliação das práticas de biosseguridade em granjas produtoras de suínos do Estado do Rio Grande do Sul.

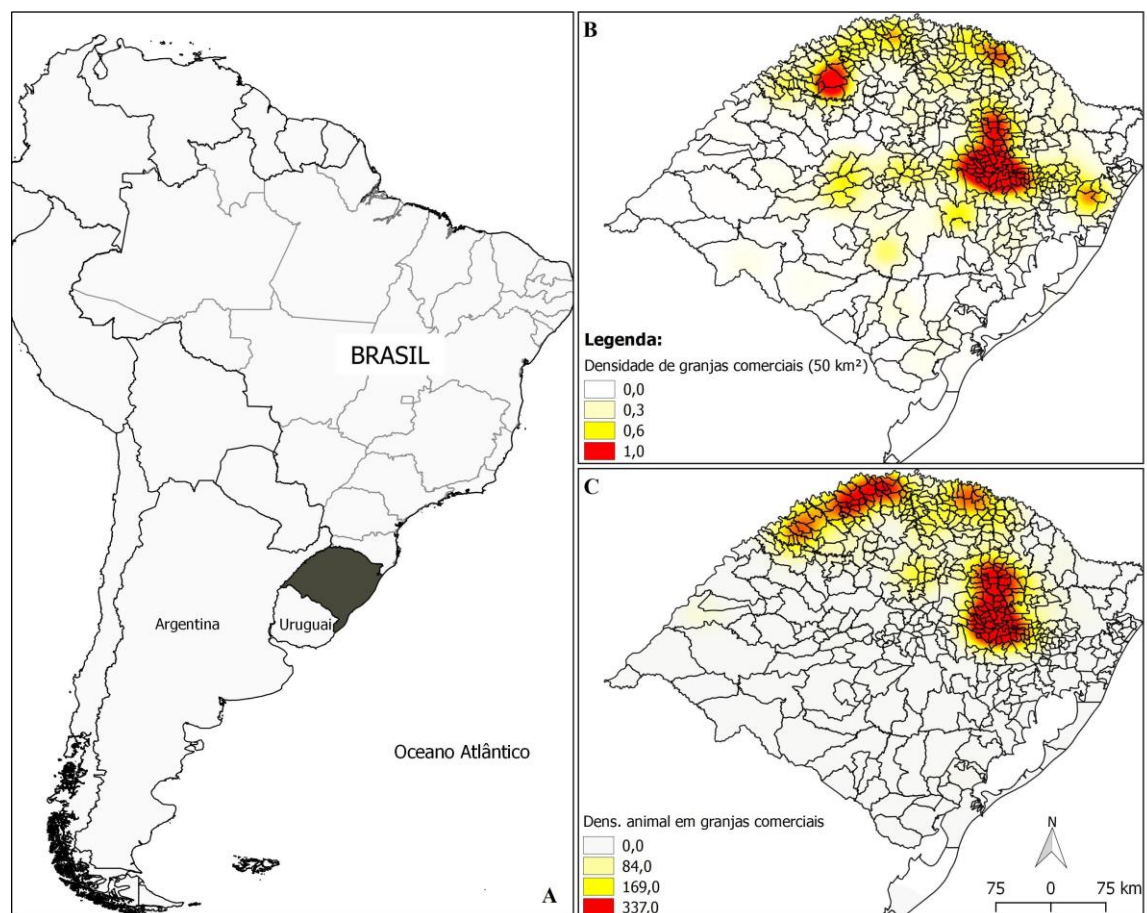
Agroindústria	Finalidade de produção					Total por Agroindústria [†]
	1 - GRSC	2 - UPL	3 - UC	4 - UT	5 - Ciclo Completo	
A1	4	18	13	34	1	70 (11,6%)
A2	2	45	11	20	1	79 (13,1%)
A3	8	17	4	40	0	69 (11,4%)
A4	0	1	0	3	0	4 (0,7%)
A5	12	11	62	19	1	105 (17,4%)
A6	0	13	8	9	0	30 (5,0%)
A7	9	23	26	46	0	104 (17,20%)
A8	4	15	43	11	0	73 (12,1%)
A9	0	28	6	15	14	63 (10,4%)
A10	2	1	3	1	0	7 (1,2%)
Total por Finalidade de produção[‡]	41 (6,8%)	172 (28,5%)	176 (29,1%)	198 (32,8%)	17 (2,8%)	604 (100%)

[†]Frequência de cada agroindústria sob o total amostrado.

[‡]Frequência de cada finalidade de produção sob o total amostrado.

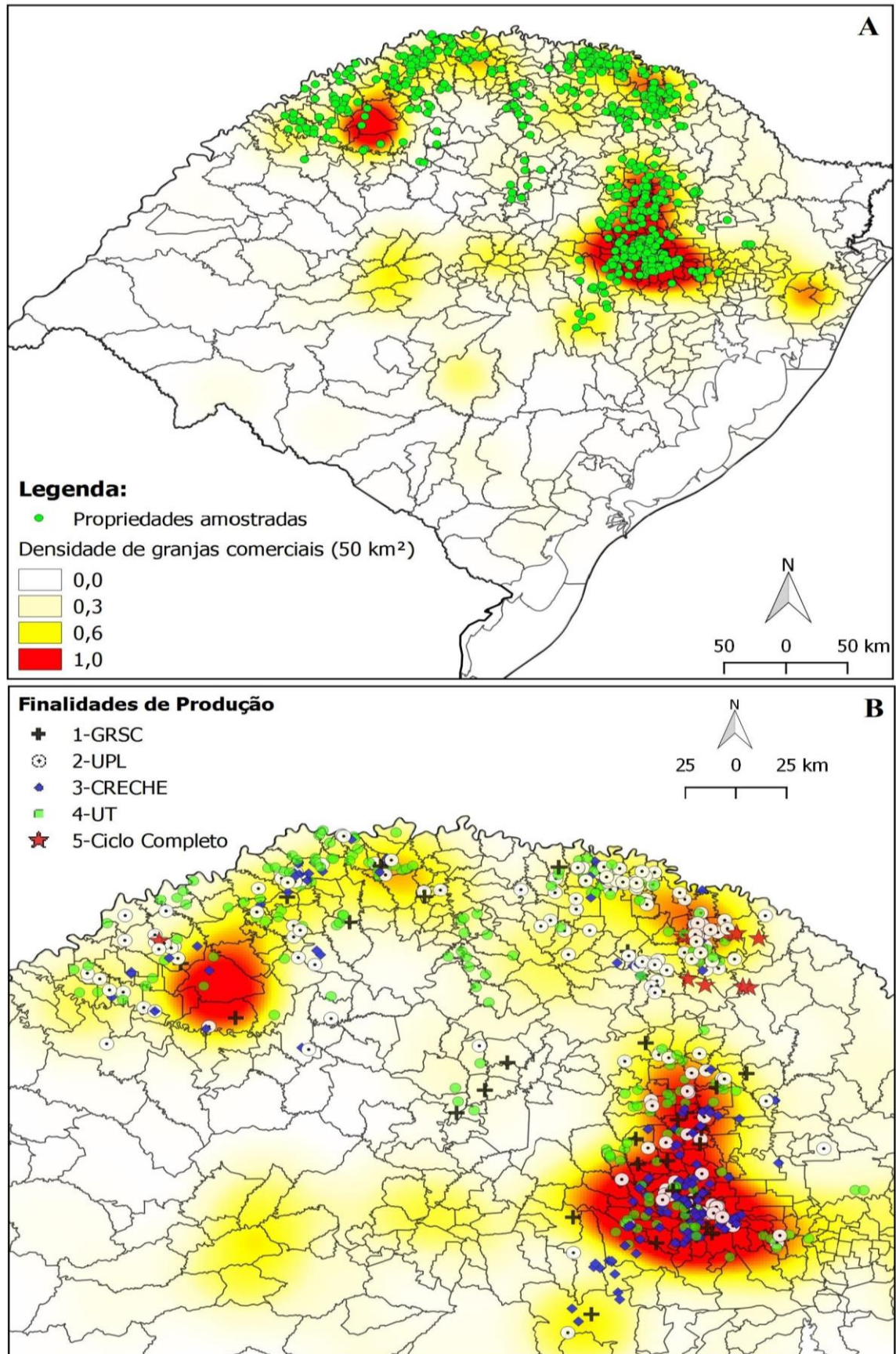
Na figura 1 está apresentada a localização do estado do RS (A) e os mapas de densidade (*rasters*) mostrando espacialmente a distribuição das granjas comerciais no estado (A) e a distribuição da população de suínos comerciais (C) das granjas cadastradas na SEAPI-RS no ano de 2015. Observa-se que a produção de suínos no estado se encontra concentrada principalmente em duas regiões, na região norte onde o estado faz divisa com o estado de Santa Catarina e na região nordeste do Estado, na região do Vale do Taquari.

Figura 1. Distribuição espacial do estado do RS (A), mapa de *raster* descrevendo a distribuição das granjas comerciais no estado (B) e *raster* da distribuição da população animal das granjas comerciais do estado (C).



Na figura 2-A pode ser observado a distribuição espacial das propriedades e na figura 2-B a descrição das mesmas por finalidade de produção. Observa-se nessas figuras que a amostragem realizada possui representatividade estadual e a concentração da amostragem está localizada nas regiões onde se encontram a produção de suínos no estado.

Figura 2. Distribuição das propriedades amostradas no RS (A) e descrição das amostras por finalidade de produção (B).



Com relação às práticas de biossegurança, na tabela 2 encontram-se aquelas referentes à segregação e estrutura física das propriedades e à frequência de realização na amostra e por finalidade de produção. Como o próprio nome diz, essas práticas servem para delimitar o sítio de produção, bem como estabelecer uma barreira física para limitar ou impedir o acesso ao interior da unidade de produção.

Dentre as práticas comuns em todas as finalidades de produção destacam-se: rara frequência de visitantes; uso de caminhões dedicados a cada finalidade de produção e motoristas sem acesso ao interior da granja. Por outro lado, práticas como a presença de arco de desinfecção nas propriedades e necessidade de banho para visitantes não são comuns entre todas as finalidades.

As granjas GRSC's têm relativamente alta frequência na adoção de práticas de biossegurança quando comparada as demais granjas. Grande parte das práticas de segregação é realizada pelas GRSC e isso era esperado, visto que as GRSC passam por certificação anual e monitoramento periódicos e são obrigadas a cumprir as normas e requerimentos instituídos pela IN n° 19 (MAPA, 2012), que inclui requisitos mínimos de biossegurança como por exemplo existência de barreiras sanitárias (e.g. banheiro), e cerca. A IN n° 19/2012 regulamenta as normas a serem cumpridas para a certificação de Granjas de Reprodutores Suídeos, em decorrência da “necessidade de manter um nível sanitário adequado nas granjas que comercializam, distribuam ou mantenham reprodutores suínos para multiplicação animal e a fim de evitar a disseminação de doenças e assegurar níveis desejáveis de produtividade”.

Entre as UPL's, UC's' e UT's', observa-se que não existe um padrão entre a frequência das práticas de segregação avaliadas. Esperava-se que as UPL's tivessem algumas estruturas básicas e clássicas como, por exemplo, cerca ao redor do galpão e presença de banheiro no limite da granja para troca de roupa. No entanto, essa hipótese não foi sustentada pelos achados. Já as granjas de ciclo completo em sua maioria têm baixa frequência na adoção em grande parte das práticas avaliadas.

Tabela 2. Estimativa das práticas de biossegurança relacionadas a segregação e estrutura física.

Prática de biossegurança [†]	Finalidade de produção					Total (n=604)	SE
	GRSC (n=41)	UPL (n=172)	UC (n=176)	UT (n=198)	Ciclo Completo (n=17)		
Vizinhos NÃO possuem/criam suínos (n=590)	70,7%	64,8%	61,3%	57,3%	76,5%	58,6%	0,03
Propriedade possui placa entrada proibida (n=589)	87,8%	54,4%	49,2%	34,3%	11,8%	37,7%	0,02
Granja possui acesso único (entrada única) (n=593)	90,2%	37,2%	49,1%	43,0%	17,6%	43,2%	0,03
Presença de cinturão verde (n=590)	70,7%	70,7%	52,9%	61,9%	76,5%	62,3%	0,03
Presença e utilização de arco de desinfecção para veículos (n=595)	48,8%	6,8%	1,1%	0,5%	11,8%	1,7%	0,00
Presença de cerca ao redor da granja ou do galpão (n=598)	95,0%	51,2%	58,8%	41,2%	23,5%	43,8%	0,02
Presença de tela anti-pássaros nos galpões (n=591)	78,0%	25,2%	65,1%	42,0%	11,8%	42,2%	0,03
Presença de silo de ração nos limites da cerca que possibilite carregamento sem que o caminhão adentre a área interna (n=590)	90,2%	37,7%	65,0%	52,2%	11,8%	51,9%	0,03
Protocolo de orientação para entrada de visitantes (n=582)	74,4%	45,2%	46,2%	36,5%	33,3%	38,4%	0,03
Frequência da entrada de visitantes (raramente) (n=603)	95,1%	87,3%	93,0%	94,9%	87,5%	94,0%	0,01
Necessidade de banho para visitantes (n=553)	90,3%	29,1%	25,9%	8,6%	7,1%	12,4%	0,02
Presença de banheiro no limite da granja (n=598)	90,2%	44,2%	53,4%	37,9%	11,8%	40,0%	0,03
Separação entre área suja e limpa (<i>Danish system</i>) (n=596)	72,5%	37,3%	29,1%	14,5%	17,6%	18,4%	0,02
Presença de estacionamento para visitantes (n=599)	90,0%	55,2%	71,1%	47,9%	37,5%	50,6%	0,03
Trânsito de veículos no interior da granja é proibido (n=596)	87,8%	41,4%	70,5%	47,5%	23,5%	48,9%	0,03
É proibida a entrada de caminhões já transportando suínos (n=597)	82,9%	20,0%	50,9%	64,6%	52,9%	59,6%	0,03
Caminhões são dedicados a cada finalidade de produção (n=562)	86,5%	93,6%	88,1%	93,5%	75,0%	93,0%	0,02
Motorista NÃO tem acesso ao interior da granja (n=601)	97,6%	86,3%	79,7%	92,2%	68,8%	90,8%	0,01
<i>Frequência média de adoção por finalidade e total</i>	<i>83,3%</i>	<i>49,3%</i>	<i>56,1%</i>	<i>48,4%</i>	<i>36,5%</i>	<i>49,3%</i>	

[†]A estimativa de cada prática varia de acordo número de granjas avaliadas devido à ocorrência de valores faltantes.

Na tabela 3 encontram-se as práticas referentes aos procedimentos de limpeza e desinfecção e à frequência de realização. Os protocolos de limpeza e desinfecção são importantes para redução ou eliminação dos agentes infecciosos presentes nos fômites e instalações, diminuindo a pressão de infecção nas instalações/propriedade (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2010).

Dentre as práticas mais comuns entre as finalidades estão: a realização da cloração da água de bebida nos animais e a realização de análises físico-químicas da água utilizada. A qualidade da água é um dos itens essenciais para produção de suínos (AMASS, 2005; BARCELLOS et al., 2008). Além disso, já foram reportados surtos de doenças pela utilização de água de má qualidade, entre elas a ocorrência de salmonelose, colibacilose e leptospirose (ANDRES; DAVIES, 2015; RAMIREZ; ZAABEL, 2012).

As práticas de limpeza e desinfecção menos comuns entre as finalidades foram a presença de local de desinfecção de materiais que são introduzidos na propriedade (ex. fumigador) e a frequência com que se realiza a lavagem e desinfecção de caminhões antes de entrar na propriedade.

Atualmente, as práticas relacionadas a biosseguridade de transporte vem se tornando fundamentais as agroindústrias visto que a transmissão indireta de agentes infecciosos pode se dar através do transporte de animais (reposição, animais de descarte e movimentação de animais entre os sítios de produção), entrega de sêmen e entrega de suprimentos (ração, medicamentos e outras matérias de uso diário) (BOTTOMS et al., 2012; RAMIREZ; ZAABEL, 2012). Autores citam que devido à alta conectividade da cadeia de produção, um caminhão depois de contaminado pode servir de elo de ligação entre diferentes propriedades e servir de veículo para transmissão de agentes infecciosos (DEE et al., 2004; PORPHYRE et al., 2014; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN et al., 2012). Desta forma, é importante a adoção de protocolos de limpeza e desinfecção com o objetivo de prevenir a transmissão de patógenos.

O mesmo padrão encontrado nas práticas de segregação foi observado nas práticas relacionadas à limpeza e desinfecção, onde as granjas GRSC cumprem seu papel realizando grande parte dos itens avaliados. Já as demais finalidades de produção, com exceção de algumas práticas de biosseguridade isoladas, possuem baixa frequência de adoção das práticas avaliadas.

Tabela 3. Frequência das práticas de biosseguridade relacionadas aos procedimentos de limpeza e desinfecção realizados nas propriedades.

Prática de biosseguridade [†]	Finalidade de produção					Total (n=604)	SE
	GRSC (n=41)	UPL (n=172)	UC (n=176)	UT (n=198)	Ciclo Completo (n=17)		
Presença e uso de local específico para desinfecção dos materiais que serão introduzidos e utilizados na propriedade (ex. fumigador) (n=603)	61,0%	10,1%	8,8%	7,1%	11,8%	8,1%	0,02
Uso de roupas específicas para visitantes (n=587)	97,4%	48,9%	45,1%	26,9%	13,3%	31,0%	0,02
Uso de roupas específicas para funcionários (n=601)	95,1%	48,0%	32,6%	32,2%	33,3%	34,4%	0,03
Frequência de lavagem e desinfecção de caminhões antes de entrar na propriedade (sempre) (n=604)	56,1%	10,2%	3,9%	1,8%	23,5%	3,4%	0,01
Realiza cloração da água (n=601)	82,9%	59,8%	66,6%	80,5%	35,3%	77,4%	0,02
Realiza análises físico-químicas da água dos animais (n=600)	75,6%	43,9%	70,8%	50,5%	17,6%	51,4%	0,03
Frequência de desinfecção de materiais que serão introduzidos e utilizados na propriedade (entrada da granja) (sempre) (n=604)	70,7%	40,7%	41,1%	38,8%	52,9%	39,6%	0,03
<i>Frequência média de adoção por finalidade e total</i>	<i>77,0%</i>	<i>37,4%</i>	<i>38,4%</i>	<i>34,0%</i>	<i>26,8%</i>	<i>35,0%</i>	

[†]A estimativa de cada prática varia de acordo número de granjas avaliadas devido à ocorrência de valores faltantes.

Na tabela 4 estão listados os itens avaliados em relação às práticas de manejo, à frequência de adoção em todas as propriedades e por finalidade de produção. As práticas de manejo são importantes para controlar o fluxo de produção interno entre pessoas, animais e equipamentos, além de serem fundamentais na redução dos riscos sanitários através da redução do contato entre animais infectados e susceptíveis (CSHB, 2010).

Em relação às práticas de manejo observa-se uma maior frequência de realização por parte das propriedades em todas as finalidades de produção. Apenas duas práticas se destacam negativamente nesta classificação. Com exceção de 73% das granjas GRSC, nas demais finalidades o(s) funcionário(s) que trabalham com os suínos tem contato com outros animais de produção (aves, bovinos e ovinos). Essa ocorrência representa uma falha importante dos programas de biossegurança, devido ao risco potencial do homem agir como vetor mecânico de doenças que acometem múltiplas espécies como a doença de Aujeszky, brucelose, febre aftosa, leptospirose, salmonelose e estomatite vesicular (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2013).

Outro ponto importante, e que também seria considerado um ponto crítico para transmissão direta de doenças e previamente reportado como fator de risco é a utilização de origens múltiplas tanto para animais de reposição (material genético) quanto no alojamento de lotes de creche e terminação de múltiplas origens (AMASS, 2006; BARCELLOS et al., 2008; RAMIREZ; ZAABEL, 2012). No caso dos animais de reposição isso pode representar a introdução de um agente exótico na propriedade, que pode comprometer o *status* sanitário da granja, reforçando a importância da presença do quarentenário nas granjas para evitar tais eventos adversos. Já para as UC e UT, animais de múltiplas origens aumentam o desafio sanitário do lote visto que eles podem ter diferentes níveis imunitários e possuem patógenos diferentes. Contudo, devido a intensificação da suinocultura e a existência de propriedades de diversos tamanhos nas agroindústrias no Rio Grande do Sul, o manejo de lotes de origem única se tornou impraticável em alguns casos. Alternativas incluem a segregação de animais por origem a nível de sala (mesmo que no barracão ou propriedade tenha múltiplas origens), e operação de granjas UPL em “partos em banda”, onde as coberturas, e subsequentes eventos de parto e desmama são concentrados (exemplo 1 semana por mês), o que aumenta o número de leitões desmamados por evento de desmama, e permite ‘completar’ uma sala ou barracão com única origem.

Tabela 4. Frequência das práticas de biosseguridade relacionadas aos procedimentos de manejo realizados nas propriedades.

Prática de biosseguridade [†]	Finalidade de produção					Total (n=604)	SE
	GRSC (n=41)	UPL (n=172)	UC (n=176)	UT (n=198)	Ciclo Completo (n=17)		
Não é cooperado de outra espécie animal na propriedade (n=604)	85,4%	83,3%	67,3%	60,7%	82,4%	63,7%	0,03
Funcionário(s) que trabalha diretamente com os suínos NÃO tem contato com outros animais de produção (aves, bovinos e ovinos) (n=576)	73,0%	40,1%	19,6%	13,5%	11,8%	17,0%	0,02
Realiza reposição de animais de reprodução (material genético) ou crescimento de lotes de creche e terminação de animais oriundos de origem única (granja) (n=604)	70,7%	42,2%	12,8%	28,6%	47,1%	29,4%	0,03
Realiza vazio sanitário entre lotes (7 dias) (n=585)	91,2%	77,4%	95,0%	99,0%	64,7%	96,5%	0,01
Utiliza equipamento exclusivo para cada galpão (n=604)	51,2%	63,1%	68,5%	71,3%	76,5%	70,2%	0,03
Utiliza baia hospital para separação de animais doentes (n=600)	87,8%	63,5%	96,9%	97,8%	70,6%	94,2%	0,01
Realiza controle de roedores (n=599)	100,0%	96,5%	98,5%	97,0%	52,9%	96,9%	0,01
Realiza controle de moscas (n=603)	92,7%	84,0%	81,2%	65,8%	50,0%	68,8%	0,03
Realiza treinamentos periódicos com os funcionários sobre as práticas sanitárias e de manejo adequadas (n=592)	90,2%	85,4%	76,3%	70,2%	47,1%	72,2%	0,03
Utiliza luva descartável para manipulação de animais mortos (n=597)	92,7%	77,9%	59,6%	65,5%	52,9%	66,5%	0,03
<i>Frequência média de adoção por finalidade e total</i>	<i>83,5%</i>	<i>71,3%</i>	<i>67,6%</i>	<i>66,9%</i>	<i>55,6%</i>	<i>67,5%</i>	

[†]A estimativa de cada prática varia de acordo número de granjas avaliadas devido à ocorrência de valores faltantes.

No geral, os resultados sugerem que as propriedades avaliadas podem melhorar o nível de biosseguridade atual, com a exceção das granjas GRSC's que sofrem influência de regulamentações específicas (IN n° 19/2012) e, portanto, são obrigadas a possuir uma infraestrutura mínima.

Entretanto, avaliando apenas um conjunto de práticas de biosseguridade sem um contexto específico ou doença específica é difícil estabelecer o que seria um programa de biosseguridade ideal e de acordo com os resultados apresentados qual seria a vulnerabilidade dos sistemas de produção a introdução de novos patógenos, visto que as agroindústrias se baseiam em vários objetivos e níveis de aceitação de riscos para estabelecer seus protocolos de biosseguridade.

Nesse contexto, um ponto importante a ser levantado é que dentre as práticas de biosseguridade avaliadas, algumas podem estar relacionadas a finalidades de produção específicas. Por exemplo, as GRSC's e as UPL's juntas são responsáveis por toda a produção de leitões (reposição e animais comerciais) que abastecem as demais finalidades do sistema produtivo. Por este motivo, se espera que maiores investimentos sejam realizados nestas finalidades, principalmente práticas estruturais e de mitigação de riscos associados à introdução e transmissão de patógenos.

Esse senso comum é bem difundido na produção de suínos, onde os investimentos são realizados conforme a posição das propriedades na pirâmide sanitária (UPL GRSC > UPL comercial > UC > UT). Essa suposição pode ser sustentada pelos achados que mostram um favorecimento de práticas de manejo quando comparadas com as práticas de segregação e limpeza/desinfecção nas unidades de creche (UC) e terminação (UT).

Outro fator que pode influenciar a baixa adoção de práticas de biosseguridade está relacionado à percepção de risco dos produtores (FIRESTONE et al., 2014; SIMON-GRIFÉ et al., 2013). Até os dias atuais, o Brasil é livre de alguns patógenos importantes na suinocultura mundial, como o vírus da síndrome reprodutiva (PRRSV) e respiratória suína e o vírus da diarreia epidêmica suína (PEDV). Os principais patógenos endêmicos que circulam nos plantéis nacionais como o *Mycoplasma hyopneumoniae*, Influenza vírus tipo A, *Actinobacillus pleuropneumoniae* e *Haemophilus parasuis*, mesmo em situações de surto, não impõem limitações à produção e desta forma não desafiam os produtores a ponto de realizar grandes investimentos em biosseguridade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMASS, S. F.; CLARK, L. K. Biosecurity considerations for pork production units. **Swine Health Prod**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 217–228, 1999.

AMASS, Sandra F. Biosecurity - Stopping the bugs from getting in. **The Pig Journal**, [s. l.], v. 55, p. 104–114, 2005. Disponível em:
<<http://www.thepigsite.com/pigjournal/view/147/biosecurity-stopping-the-bugs-from-getting-in/>>

AMASS, Sandra F. Biosecurity Practical Applications. **Pork information gateway**, , 2006. Disponível em: <<http://porkgateway.org/resource/biosecurity-practical-applications/>>

Andres, V.M., Davies, R.H.. Biosecurity Measures to Control Salmonella and Other Infectious Agents in Pig Farms: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 317–335, 2015.

Backhans, A., Sjolund, M., Lindberg, A., Emanuelson, U. Biosecurity level and health management practices in 60 Swedish farrow-to-finish herds. **Acta Veterinaria Scandinavica**, [s. l.], v. 57, n. 1, p. 14, 2015. Disponível em:
<<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84935923071&partnerID=tZOtx3y1>>

Barcellos, D.E.S.N., Mores, T.J., Santi, M., Gheller, N.B. Avanços em programas de biosseguridade para a suinocultura Advances in biosecurity programs in pig production. **Acta Scientiae Veterinariae**, [s. l.], v. 36, n. Supl 1, p. 33–46, 2008.

Boklund, A., Alban, L., Mortensen, S., Houe, H. Biosecurity in 116 Danish fattening swineherds: Descriptive results and factor analysis. **Preventive Veterinary Medicine**, [s. l.], v. 66, n. 1–4, p. 49–62, 2004.

Bottoms, K., Poljak, Z., Dewey, C., Deardon, R., Holtkamp, D., Friendship, R. Investigation of strategies for the introduction and transportation of replacement gilts on southern Ontario sow farms. **BMC Vet Res**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 217, 2012. Disponível em:
<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23140357%5Chttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3514383/pdf/1746-6148-8-217.pdf>>

Casal, J., De Manuel, A., Mateu, E., Martín, M. Biosecurity measures on swine farms in Spain: Perceptions by farmers and their relationship to current on-farm measures. **Preventive Veterinary Medicine**, [s. l.], v. 82, n. 1–2, p. 138–150, 2007.

CSHB. National Swine Farm-Level Biosecurity Standard. **Canadian Swine Health Board - Technical Committee on Biosecurity**, 2010.

Dee, S., Deen, J., Burns, D., Douthit, G., Pijoan, C. An assessment of sanitation protocols for commercial transport vehicles contaminated with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. **Canadian journal of veterinary research**. Canada, v. 68, n. 3, p. 208–214, 2004.

Firestone, S.M., Lewis, F.I., Schemann, K., Ward, M.P., Toribio, J.-A.L.M.L., Taylor, M.R., Dhand, N.K. Applying Bayesian network modelling to understand the links between on-farm biosecurity practice during the 2007 equine influenza outbreak and horse managers' perceptions of a subsequent outbreak. **Preventive Veterinary Medicine**, [s. l.], v. 116, n. 3, p. 243–251, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Good practices for biosecurity in the pig sector - Issues and options in developing and transition countries. [s.l.]: **Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Organisation for Animal Health/World Bank**., 2010. Disponível em:
<<http://www.fao.org/docrep/012/i1435e/i1435e00.pdf>>

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. Instrução Normativa No 19, 15/02/2002. Brasil. 2012. p.8.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. Instrução Normativa No 50. Brasil. 2013. p. 6.

Porphyre, T., Boden, L.A., Correia-Gomes, C., Auty, H.K., Gunn, G.J., Woolhouse, M.E.J.J. How commercial and non-commercial swine producers move pigs in Scotland: A detailed descriptive analysis. **BMC Veterinary Research**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1–17, 2014. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24965915>>. Acesso em: 4 fev. 2018.

Ramirez, A., Zaabel, Z. Swine Biological Risk Management. **Center for Food Security and Public Health**. 2012. Ames, IA. Disponível em:
<<papers2://publication/uuid/448CF6C9-51D6-4B51-81F1-CA3E4AE0B204>>

Schwartzkopf-Genswein, K.S., Faucitano, L., Dadgar, S., Shand, P., González, L.A., Crowe, T.G. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. **Meat Science**, [s. l.], v. 92, n. 3, p. 227–243, 2012.

Simon-Grifé, M., Martín-Valls, G.E., Vilar, M.J., García-Bocanegra, I., Martín, M., Mateu, E., Casal, J. Biosecurity practices in Spanish pig herds: Perceptions of farmers and veterinarians of the most important biosecurity measures. **Preventive Veterinary Medicine**, [s. l.], v. 110, n. 2, p. 223–231, 2013. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.11.028>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

SOBESTIANSKY, Jurij. 2002. Sistema Intensivo de Produção de Suínos: Programa de Biossegurança. Goiânia - Goiás.

4.2. Parte 2: Artigo 1 – Assessment of biosecurity practices and development of a scoring system in swine farms using item response theory⁵

⁵ Artigo submetido à revista científica *Preventive Veterinary Medicine*. A formatação do artigo segue as normas da revista em questão. Este estudo relata a utilização de uma ferramenta para classificar as granjas de suínos quanto as práticas de biosseguridade.

Assessment of biosecurity practices and development of a scoring system in swine farms using item response theory

Gustavo S. Silva¹, Vanessa B. Leotti², Stela M. J. Castro², Antonio A. R. Medeiros^{1,3}, Ana P. S. P. Silva¹, Daniel C. L. Linhares⁴ and Luis. G. Corbellini^{1*}

¹Laboratory of Veterinary Epidemiology, Faculty of Veterinary, Department of Preventive Veterinary Medicine, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil;

²Department of Statistics, Institute of Mathematics and Statistics and Post-Graduate Program of Epidemiology, Faculty of Medicine, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil;

³Department of Agriculture and Livestock of Rio Grande do Sul (SEAPI), Porto Alegre, Brazil;

⁴ Veterinary Diagnostic and Production Animal Medicine Department, Iowa State University, Ames, IA, United States.

* Corresponding author:

E-mail: luis.corbellini@ufrgs.br, lgcorbellini@hotmail.com (Luis. G. Corbellini);

Abstract

Brazil is the fourth largest producer and exporter of pork in the world, and free of some economically important diseases such as porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS), transmissible gastroenteritis (TGE), and porcine epidemic diarrhea (PED). Most of the commercial swine farms in Brazil are characterized by intensive production being part of large production systems, where biosecurity practices help to prevent the introduction and spread of disease-causing infectious agents. Most biosecurity protocols cannot be measured directly, and thus consist of a set of variables that are used to estimate this characteristic. Also, the adoption of biosecurity practices may be related to herd and owner characteristics. The objective of the study was to develop a biosecurity score using the item response theory (IRT) model and explore the relationship between the scores and independent variables. The IRT is a latent trait method extensively used in educational, social and psychological fields, and offers the advantage to quantify the latent trait, here biosecurity level, and to identify the practices that discriminate the farms avoiding the use of redundant variables and long questionnaires. A stratified random sampling was carried out in the main swine industry regions of the Rio Grande do Sul state in Brazil, where 604 farms were assessed. In this study, we used 35 practices to describe the most common biosecurity practices applied in intensive swine production units. After a recursive process, 14 practices were selected to compose the biosecurity score. The results demonstrate that biosecurity practices related to management (internal biosecurity) are adopted in higher frequency compared to segregation and sanitation practices (external biosecurity). Perimetral fence around the farm or barn, feed bin outside of the barn limit (external feed loading) and dressing room near the main entrance (bathroom) were, respectively, the variables with

greater capacity of distinguishing the farms as to their biosecurity level. Biosecurity score was associated with the herd type, swine industry company, property size, and educational level of the owner. Here, a TRI model proved to be useful and valid to evaluate biosecurity practices in swine farms. Moreover, the biosecurity score described here has a relatively low number of questions, which makes the application easier and faster compared to other previously described biosecurity assessment.

Keywords: biosecurity assessment; biosecurity score; item response theory; herd characteristics; commercial swine farms; swine industry.

1. Introduction

Brazil is the fourth largest producer and exporter of pork meat in the world, currently has ~2 million sows and exports ~732.9 thousand tons for countries worldwide (ABPA, 2017). Ninety percent of the swine industry in Brazil is concentrated in the south, southeast and midwestern states, and these states are recognized by the OIE as a free zone of Classical swine fever (CSF), African swine fever (ASF) and Foot and mouth disease (FMD). Brazil has also never reported porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS), and transmissible gastroenteritis (TGE), porcine deltacoronavirus (PDCo), or porcine epidemic diarrhea (PED) (ABPA, 2017; OIE, 2017). Most of the commercial swine farms in the Rio Grande do Sul (RS) state are part of large company integrators (also known as agroindustry's, production systems or swine industries), where biosecurity practices help to isolate the integrated farms within a company from other integrators and from noncommercial or nonintegrated swine premises.

Biosecurity practices comprises all measures designed to prevent the introduction and spread of disease-causing agents into a herd or barn (Amass and Clark, 1999). The adoption of these practices will not only reduce significantly the risk of disease introduction, but also reduce the magnitude of the financial losses that may occur following infection in a susceptible population (Nespeca et al., 1997). Therefore, biosecurity protocols are essential not only to provide nationwide protection against the introduction and spread of exotic diseases, but also transmission within and between herds (Food and Agriculture Organization, 2010).

The evaluation of biosecurity is usually done by the assessment of several highly correlated practices (Boklund et al., 2004). Since biosecurity cannot be measured directly

and consist of a set of variables that are used to estimate this characteristic, it can be classified as a latent variable or latent trait (Castro et al., 2010). In addition, the adoption of practices depends on the owner perception of risk, the company to which it belongs, the farm production type and the size of the property to name a few (Amass, 2006; Racicot et al., 2012; Simon-Grifé et al., 2013). The most common way described in literature to evaluate biosecurity in swine farms is by creating scores, where the combination of several practices generates a score capable of quantifying biosecurity. Some methods were already described with this aim and the majority applied multivariate analyses (Boklund et al., 2004; Bottoms et al., 2013; Casal et al., 2007; Ribbens et al., 2008), risk-based scoring system (Holtkamp et al., 2011; Laanen et al., 2010; Zang et al., 2012) or merely the sum of the practices adopted at herd-level (Pinto and Urcelay, 2003). These scores have been commonly used to classify and identify herds vulnerabilities to diseases (Bottoms et al., 2013; Laanen et al., 2013), but this type of method may have the disadvantage of using extensive and redundant questionnaires. In addition, they do not discriminate biosecurity practices that are commonly applied by the best farms.

The item response theory (IRT) is a method extensively used in educational, social and psychological fields (Balsis et al., 2017; Hambleton et al., 2000; Hays et al., 2000) and recently in food security (Mark Nord, 2014), where usually a test consisting of a set of items (variables) is submitted to a sample of examinees to infer the individuals' unobservable characteristics (latent trait). For example, anxiety is characterized by a set of items (variables); IRT is used to develop an anxiety score with variables that best discriminate (or define) the severity of anxiety in individuals (Cooper-Vince et al., 2014). The use of IRT models is a viable alternative to evaluate not only the estimated latent trait

but also can evaluate each item (variable) of the questionnaire individually (Fink et al., 2017; Linden, 2016). The advantages of using IRT method to measure biosecurity would be helping to identify the practices that discriminate the farms and the most critical practices of the questionnaire, avoiding the use of excessive quantity of variables with lower information to the measurement tool (Birnbaum, 1968; Linden, 2016). This is possible, in part, because there is autocorrelation on adoption of specific biosecurity practices. For example, farm with facilities for showering in, also tend to provide farm-specific coveralls and boots.

The objective of the study was to develop a biosecurity score using the IRT method. In addition, we aimed to identify biosecurity practices that discriminate and are considered critical to classify the herds. Subsequently, we explored the relationship between the scores and some independent variables related to herd characteristics. Therefore, we discuss about the application of the method in the context of biosecurity practices.

2. Methods

2.1. Data and study design

Data came from a cross-sectional study conducted in Rio Grande do Sul (RS) state, Brazil, in 2015. RS is located in the southern region of the country and currently is the second largest pork exporter in the country (ABPA, 2017). The objective of the study was to estimate the biosecurity practices performed in intensive pig production farms in the state of RS. The target population was the farms within the main swine industries of the state and represents 75% of the state's commercial farms. The list of these properties was obtained from the database of the Department of Agriculture and Livestock of Rio Grande

do Sul (SEAPI) with previously consent of the participating industries. The study was approved by the Scientific Research Committee of the Faculty of Veterinary of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (#30594).

The industrialization of swine production led to changes in the way of producing animals and one important change is the specialization of the herds (sites) in specific stages of production (Otte et al., 2007). The production sites in intensive swine production are generally classified as: “nucleus sites”, which produce animals to reproduction (replacement gilts and boars) for breeding herd and farrow-to-finish herds, “breeding herds” that produce commercial piglets until weaning age (≈ 21 days), and “nursery sites” that receive the weaned pigs and raise them until ≈ 80 days. Later those animals are transferred to “finishing sites” where they are raised until slaughter, and finally the “farrow-to-finish” farms that produce animals from birth to slaughter in the same site.

To establish the number of farms, it was considered: a farm population of 3,943; an expected value where 50% of the farms had a good biosecurity level, in other words, the farms performed 50% of the biosecurity practices evaluated; 95% confidence interval (CI); estimated precision of 1%; and an addition of 15 % on the sample size to avoid losses. Following these criteria, the sample required were 600 farms in a simple random sample. Due to the importance and small number of farms classified as nucleus and farrow-to-finish, a census was performed at these groups and the remaining samples were divided between the other herd classifications. Then, the remaining samples were divided proportionally within herd type and company, maintaining the representativeness of the target population.

2.2. Biosecurity survey and variables selected for the analysis

The questionnaire included information of the owner, herd characteristics, location and biosecurity practices. The data was obtained assessing the farms in locu, auditing farm characteristics and conducting an interview with the owner or farm manager. The interview was performed by trained veterinarians from SEAPI and three authors (G. Silva, A. Medeiros and A. Silva). The questionnaire was previously validated in 17 different herds, where some questions were excluded, included and others modified. The complete questionnaire is available upon request.

From the original questionnaire, the most common biosecurity practices (n=35) were selected considering scientific articles (Amass and Clark, 1999; Casal et al., 2007; Food and Agriculture Organization, 2010; Laanen et al., 2011) and common biosecurity practices applied in Brazil (Barcellos et al., 2008; Sobestiansky, 2002). All practices were dichotomous variables, where the value 1 means the presence of the practice, representing the increase of the biosecurity level. Table 1 describes the selected practices and the estimated population frequency of adoption. In Table A in the Supplement Material the definition of the practices can be accessed.

The biosecurity practices were classified based on the three major principles of application (CSHB, 2010): (1) segregation – the application of barriers that are intended to limit pathogens from entering the environment or infecting susceptible animals; (2) sanitation – cleaning, disinfecting, and drying to remove organic material and reduce pathogen load; and (3) management practices – organizing the flow of animals, people, and equipment to prevent cross-contamination. Table 1 in the Supplementary File defines and classifies each biosecurity practice evaluated and Table 1 describes the obtained results.

2.3. Item response theory (biosecurity score)

A biosecurity score was developed using the Item Response Theory (IRT). IRT is a statistical method used to relate the response probability of the items of a determined measurement tool to a “latent trait” (Embretson and Reise, 2000). In the present study, latent trait was biosecurity level in swine farms, and its estimate (score) was derived from the pattern of response obtained in the selected practices. The higher the score, the higher the biosecurity level, since it means more responses “1” to the biosecurity practices.

Among the IRT models available for dichotomous variables, the 2 parameter logistic model (2PL) proposed by Birnbaum (Birnbaum, 1968) was chosen. The two parameters model predicts that the probability that the farm j adopts the biosecurity practices measured in item i , conditioned to its biosecurity score, i.e., $P(X_{ij}=1 | \theta_j, \zeta_j)$, as follows:

$$P(X_{ij} = 1 | \theta_j, \zeta_j) = \frac{1}{1 + e^{-a_i(\theta_j, \zeta_j)}} \quad (1)$$

where: $i = 1, \dots, n$ items, $j = 1, \dots, n$ farms, $\zeta_j = (a_i, b_i)^t$, θ_j is the biosecurity score (latent trait) of the farm j (parameter of the farm); b_i is the parameter of the importance (position) of the item i (biosecurity practice) and it represents the critical importance of the biosecurity level described by the item i (when $\theta_i = b_i$, the probability of presence of the practice i is 0.5); a_i is the discrimination (or inclination) parameter of the item i , which indicates the response possibility of a certain biosecurity practice to differ the farms in relation to their latent trait, that is, the capacity of an biosecurity practice in discriminating the biosecurity level. . The biosecurity score (θ , estimating the level of biosecurity practices in the 2PL model) had mean equal to zero and standard deviation one (i.e., are on scale (0.1)).

The 2PL IRT model has two assumptions, unidimensionality and local independence (Reise and Revicki, 2014). To evaluate unidimensionality a parallel analysis was performed (Hays et al., 2000), and to test internal consistency and select the items of the score the Cronbach's alpha was used. The selection was based on an acceptable Cronbach alpha value of 0.8 and the estimated parameters provided by the 2 PL model. All the data was used for the development of the scores, regardless of missing values. The missing values were corrected using a function (*imputeMissing* in *mirt* package (Chalmers, 2012)) that performs the imputation of the missing data given the estimated latent trait (biosecurity score) of each farm.

The practices presented in the Table 1 were included in the first model. From the first model, a recursive process was performed where items with poor information were excluded at the end of each step, remaining only the items considered most informative and provided stable estimates (a_i and b_i). Items defined with poor informational generally when removed from the model increase the Cronbach alpha of the set of variables, have discrimination parameter value below the cut-off point ($a < 1$) (Andrade et al., 2000) and their parameters (a_i and b_i) are unstable, which means that the parameters values vary a lot during the recursive selection process. Such procedure, aimed to meet the requirement for the assumption of local independence in the IRT models. The assumptions of unidimensionality and local independence in the IRT models behaved in a way that, when one of them is met, the other is as well (Hays et al., 2000).

The curves generated by the formula (1) are termed Item Characteristic Curve (ICC) and show the relationship between the response probabilities for the categories of each item and the level of latent trait. The Test Information Curve (TIC) is a graphic representation of

the information function, the total quantity of information yielded by a group of items (practices) at each latent trait level is inversely related to the standard error of its estimate. By using the Test Information Curve, the latent trait interval where the test works best can be determined.

2.4. Internal validation and posterior analysis

To evaluate the internal validity of the scores we performed a concurrent validation by dividing the extreme values (10th percentile and 90th percentile) of the (biosecurity) score distribution in two groups and comparing them with the variables of interest. This analysis aims to describe the profile of the best and worst farms sampled and their relationship with the variables of interest and biosecurity practices. The variables of interest used are related to farm and owner characteristics and described in Table 2.

The relationship between the biosecurity score and the variables of interest were compared between all the farms by ANOVA when the independent variable was categorical and linear regression model when independent variable was continuous. The least squared means were estimated and values of $p < 0.05$ were considered statistically significant.

To obtain the population estimates for the variables used in the study and to adjust the IRT model, the designed weights derived from the population sampled were used. The analyses were done using the R software version 3.3.3 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2011) and the packages survey, mirt and DescTools (Chalmers, 2012; Lumley, 2004; Signorell, 2017). The Parallel Analysis (Hays et al., 2000) was done through a macro (Kabacoff, 2007) in software SAS version 9.1.3 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

3. Results

At the end of the study, 604 farms were assessed where 172 herds were breeding herds (28.5%), 176 were nursery sites (29.1%), 198 were finishing sites (32.8%), 41 were nucleus herds (6.8%) and 17 were farrow-to-finish farms (2.8%).

Table 1 shows the biosecurity practices evaluated and the population frequency of adoption between the herds. In summary, there was a trend in favor of management practices, followed by some segregation practices, and finally cleaning and disinfection practices, where the average adoption of all biosecurity practices related to management was 67.5%, the average related to all segregation practices was 49.3% and 35.0 %for all sanitation practices.

Farm characteristics were estimated using sampling weights. Table 3 describes the estimated characteristics for the whole state given the sample performed and Table B in the supplementary material contains the sample estimates (without weights). A total of 10 companies were assessed and the representativeness of each follows its distribution in the target population. The mean property size in hectares was 23.7 (SE=1.2), and the farms had a mean of 2.3 (SE=0.1) employees dedicated to swine production with a mean of 982 animals (SE=46.1) per farm. The farm owners have a mean of 25.1 (SE=1.1) years of experience in swine production. In terms of education, the farmers were distributed almost evenly between categories up to completion of secondary school.

Development of the biosecurity score

1) Item selection and adjustment

Of the 35 practices used in the first model, 14 practices were selected after the recursive selection process. The final model and the selected items (biosecurity practices)

are described on Table 4. The results from the parallel analysis showed that the assumption of unidimensionality was satisfied (Hays et al., 2000), because a dominant factor was found which explained 39.4% of the total variation and the minimum value to satisfy this assumption is 20%. Questions related to management practices, most common biosecurity practices at herd level were considered of little capacity to discriminate the farms and therefore, were excluded from the model.

Among the items from the biosecurity questionnaire maintained in the statistical model, the ones that showed to be richer in information to differentiate (ai in Table 4) the farms in relation to the biosecurity level (latent trait) were, respectively: presence of a fence around the farm or barn, feed bin outside of the barn limit (external loading), bathroom at the edge of the farm, visitor bath (shower-in) and transit of trucks inside the farm is prohibited.

Estimates for the importance parameter (bi in Table 4) of the biosecurity practices showed that practices related to truck cleaning / disinfection (farm entrance), sanitary disinfection bow for vehicles (e.g. truck, car), visitor bath (shower-in) and dressing room with delimited clean and dirty zones, were considered more critical when estimating the biosecurity score.

As example, figure 1 show the ICC produced by the model for item 13 (Table 4), regarding the “staff use of clothes and boots provided by the farm”. It can be seen from this figure that subjects with intensity of biosecurity score up to 0.84 are more likely to adopt this biosecurity practices. Panel A in the Supplementary File describes the ICC’s for the items of the model described in Table 2.

2) Latent trait estimate

Based on the answers profile of the farms obtained from biosecurity questionnaire in the selected items the statistical model analysis derived a score, relative to the latent trait estimate, for each 604 farms in the sample, after correcting for the presence of missing values.

Figure 2 describes the test information curve (TIC) (black line) for the biosecurity scores which demonstrated to be more precise in the region around -0.5 and 0.7 standard deviations from the average of the true latent trait (biosecurity) where the red line in figure 2 has the lowest standard error values.

Internal validation and relationship between biosecurity score and variables of interest

The comparison of the profile of the farms that have the best (≥ 90 th percentile) and worst scores (≤ 10 th percentile) on the variables of interest is described in Table 5. The nucleus herds and breeding are the predominant herd type in the best scores and the herd types more common in the worst scores are the breeding herds, finishing sites and almost all the farrow-to-finish farms. Among the properties that had worst scores, 78.9% were from companies C2, C8 and C9, and those that had the highest biosecurity score 61.9% belonged to companies C5 and C7.

This same comparison between the best and worst scores in respect to the biosecurity practices can be analyzed in table C in the supplement material. By analyzing this table, it can be noted that through the biosecurity score, it is possible to discriminate the properties that perform or not the biosecurity practices.

The biosecurity scores were compared in relation to the variables of interest, and significant associations were verified, with exception of variables farms age and owner's years of experience in swine production (Table 6).

4. Discussion

In this study, we used 35 practices to describe the most common biosecurity practices applied in intensive swine production units. These practices were classified according to the Canadian Swine Health Board (CSHB, 2010) in categories related with segregation, sanitation and management practices. The findings from the summary statistics (Table 1) suggest a trend in favor of biosecurity practices related to management (internal biosecurity) in comparison to segregation and sanitation practices (external biosecurity). These findings are contrary to a European study where the external biosecurity scores on average were higher than the internal (Laanen et al., 2013). Possible explanations would be the high investment in the structure of farms related to the practices of segregation and sanitation (Food and Agriculture Organization, 2010), the lack of scientific evidence related to external biosecurity practices (Romagosa, 2017) and risk perception of the farmers against pathogens introduction (Casal et al., 2007).

Also, the frequency of some biosecurity practices applied on the surveyed farms were different from those described in other published papers from Europe (Boklund et al., 2004; Casal et al., 2007; Ribbens et al., 2008) and Chile (Pinto and Urcelay, 2003), probably reflecting a different perception of the importance of each practice depending on the country and farm characteristics. In addition, the absence of important infectious diseases such as PRRS or PED can influence the application of a given practice.

Here, we used a different approach to deal with the problem of large numbers of independent variables (35 variables were used to evaluate biosecurity in this study) (Dohoo et al., 1997). The IRT is a method of great applicability in the analysis of latent traits, because it works not only on farms classification to its latent trait, but also provides information about the biosecurity score as a whole, besides the characteristics of each item (Linden, 2016). The parameters of discrimination (a) and importance/relevance (b) obtained through IRT does not explain directly which practice is more effective for a given pathogens or should be preferred at farm level. However, the idea of creating a biosecurity assessment score based on the performance of the items assists in the construction of a robust scale with items that are relevant and able to discriminate the farms, this offer an advantage over the currently available methods. Since the farms with the best scores among the practices included in the model are more likely to apply the other biosecurity practices, the IRT method avoid the use of long questionnaires that require a lot of time to be performed and the collection of excessive information (Boynton and Greenhalgh, 2004; Dean, 2015).

Regarding the estimated parameters of the model items (Table 4) and evaluating the discrimination parameter of each practice (a_i), values of $a_i \geq 1$ are considered as having reasonable discrimination (Andrade et al., 2000; J. van der Linden, 2016; Reise and Revicki, 2014). From the variables that composed the score, all items are above this threshold excepting the items related to the use of clothes and boots by the staff and truck cleaning/disinfection at farm entrance. Usually these practices have low frequency of adoption among farms, which reduces their level of discrimination, even so they were kept in the model because they provide relevant information to the biosecurity score. The most

discriminated practices were perimetral fence around the farm or barn and feed bin outside of the barn limit (external feed loading). These practices are related to the isolation of the site and to prevent the circulation of feed trucks within the property, then makes sense to have high discrimination power due to its importance to prevent the entry of unauthorized persons and other animal species in addition to the circulation of contaminated trucks inside the property.

The practices classified as more critical to the biosecurity measurement tool, having high values for bi (Table 4), were all related to segregation (sanitary disinfection bow for vehicles, visitor bath (shower-in) and dressing room with delimited clean and dirty zones) and sanitation practices (truck cleaning / disinfection (farm entrance)). These practices are usually performed on swine farms with the aim of reducing or eliminating infectious agents that can be introduced into the farm by people and vehicles (Ramirez and Zaabel, 2012).

Comparing the farms with the 10% higher and the 10% lower scores (Table 5), the findings indicate a clear division between the extremes where it can be observed that the higher the biosecurity score the more specialized the farm, which suggests a greater concern with biosecurity practices and disease prevention. And this is evident when we look at the percentage of practices performed between extremes (Supplementary material Table C), where the farms that are in the lower end practically do not perform or had a high variability on biosecurity practices performed and the opposite happened on the farms with higher scores. These results suggest the advantage of the method that the practices chosen to compose the biosecurity score using IRT can discriminate the farms based on the realization of practices and offers a reduction in the number of variables used to quantify biosecurity in farms.

This paper reinforces the positive relationship among biosecurity score and some farm characteristics (Table 6). The biosecurity score was significantly different between herd types. This result was not surprising since the nucleus farms and some breeding herds undergo certification and annual monitoring by the official veterinary service through the IN no 15 (MAPA, 2012). Also, nucleus farms are the top of the sanitary pyramid in pig production having a higher sanitary status and therefore need to reduce the risk of introduction of pathogens (Ramirez and Zaabel, 2012).

An unexpected finding was a lower score on breeding farms compared to nursery sites, where the expected breeding farms would have a higher score because they produce piglets for nursery sites. This may be due to nursery sites being smaller than breeding farms requiring less investment. Moreover, on average nursery sites are 10 years younger than breeding farms (Table 3), but this numerical difference was not shown to be associated with the biosecurity score. The results also confirmed the company's influence on the adoption of biosecurity practices. Some studies have already shown that due to occurrence of disease outbreaks or commercial relationships, some companies are more aware and reinforce the importance of the biosecurity practices in their production units (Dorea et al., 2010).

The property size and number of hogs in the farm also showed a positive relationship with biosecurity score meaning that the larger the size and quantity of animals in the property the greater the concern with biosecurity practices (higher score). This findings were also reported previously (Boklund et al., 2004; Postma et al., 2015; Ribbens et al., 2008; Van Steenwinkel et al., 2011). The owner's educational level has been cited in other studies (Casal et al., 2007; Racicot et al., 2012) as one of the factors related to positive attitudes towards the increase and compliance on biosecurity practices. Here, the

results indicate that the higher the educational level of the owner, the higher the biosecurity score.

This study provides a first attempt to study and compare biosecurity practices in swine farms in an important swine producer state in Brazil. The study has some limitations, the possibility of information bias using survey and interviews, even if made directly with the producers had been reported (Dean, 2015). Differential item functioning (DIF) constitutes an important thing to item response theory scores and needs to be further addressed on the items used here. This might be the case of items that favor (or disfavor) some sample's subgroups (e.g. herd type). The sample obtained is representative of the target population and this population represents 75% of the state's commercial farms, but its national representativeness can be questioned. However, this study brings relevant findings and due to the characteristics of swine production in Brazil, we believe that the findings would be similar in other producing regions and may be generalized carefully.

5. Conclusion

The present study developed a new assessment tool for the evaluation of the biosecurity level of swine farms using an IRT statistical model. Perimetral fence around the farm or barn, feed bin outside of the barn limit (external feed loading) and dressing room near the main entrance (bathroom) were, respectively, the variables with greater capacity of distinguishing the farms as to their biosecurity level. The biosecurity score presented here, in comparison to the methods discussed previously to assess biosecurity in swine farms, has a reduced number of questions, which makes the application of it easier and faster, and demonstrated to be related to herd and owner characteristics. Also, the results suggest there

is room for improvement in relation to the biosecurity practices carried out in swine farms in RS, since the absence of biosecurity practices might represent a risk for the spread of infectious agents (exotic and endemic) at regional and national level.

Acknowledgments

The authors would like to thank SEAPI-RS for providing the data and extensive support on data collection, FUNDESA for funding and work engagement, EPILAB-RS for the support on data collection and CAPES for the sponsorship.

Supporting Information

Supplemental File – Table A, Table B, Table C and Panel A.

References

- ABPA, 2017. 2017 Annual Report - Brazilian Association of Animal Protein (ABPA).
- Amass, S.F., 2006. Biosecurity Practical Applications.
- Amass, S.F., Clark, L.K., 1999. Biosecurity considerations for pork production units. *Swine Heal. Prod* 7, 217–228.
- Andrade, D.F. de, Tavares, H.R., Valle, R. da C., 2000. Teoria da Resposta ao Item: conceitos e aplicações, ABE – Associação Brasileira de Estatística. São Paulo.
- Balsis, S., Ruchensky, J.R., Busch, A.J., 2017. Item Response Theory Applications in Personality Disorder Research. *Personal. Disord. Theory, Res. Treat.* 8, 298–308. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/per0000209>
- Barcellos, D.E.S.N., Mores, T.J., Santi, M., Gheller, N.B., 2008. Avanços em programas de biosseguridade para a suinocultura Advances in biosecurity programs in pig production. *Acta Sci. Vet.* 36, 33–46.
- Birnbaum, A., 1968. Some Latent Trait Models and Their Use in Inferring an Examinee's Ability., in: Lord, F.M., Novick, M.R. (Eds.), *Statistical Theories of Mental Test Scores*. Information Age Publishing, p. 592.
- Boklund, A., Alban, L., Mortensen, S., Houe, H., 2004. Biosecurity in 116 Danish fattening swineherds: Descriptive results and factor analysis. *Prev. Vet. Med.* 66, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.08.004>
- Bottoms, K., Poljak, Z., Dewey, C., Deardon, R., Holtkamp, D., Friendship, R., 2013. Evaluation of external biosecurity practices on southern Ontario sow farms. *Prev. Vet. Med.* 109, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.08.013>
- Boynton, P.M., Greenhalgh, T., 2004. Selecting, designing, and developing your questionnaire. *BMJ* 328, 1312–5. <https://doi.org/10.1136/bmj.328.7451.1312>
- Casal, J., De Manuel, A., Mateu, E., Martín, M., 2007. Biosecurity measures on swine farms in Spain: Perceptions by farmers and their relationship to current on-farm measures. *Prev. Vet. Med.* 82, 138–150. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.05.012>
- Castro, S.M. de J., Trentini, C., Riboldi, J., 2010. Item response theory applied to the Beck Depression Inventory. *Rev. Bras. Epidemiol.* 13, 487–501. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2010000300012>
- Chalmers, R.P., 2012. Journal of Statistical Software mirt : A Multidimensional Item Response Theory Package for the R Environment 48. doi:10.18637/jss.v048.i06

- Cooper-Vince, C.E., Emmert-Aronson, B.O., Pincus, D.B., Comer, J.S., 2014. The diagnostic utility of separation anxiety disorder symptoms: an item response theory analysis. *J. Abnorm. Child Psychol.* 42, 417–28. <https://doi.org/10.1007/s10802-013-9788-y>
- CSHB, 2010. National Swine Farm-Level Biosecurity Standard. *Can. Swine Heal. Board.*
- Dean, R.S., 2015. The use and abuse of questionnaires in veterinary medicine. *Equine Vet. J.* 47, 379–380. <https://doi.org/10.1111/evj.12429>
- Dohoo, I.R., Ducrot, C., Fourichon, C., Donald, A., Hurnik, D., 1997. An overview of techniques for dealing with large numbers of independent variables in epidemiologic studies. *Prev. Vet. Med.* 29, 221–239. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(96\)01074-4](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(96)01074-4)
- Dorea, F.C., Berghaus, R., Hofacre, C., Cole, D.J., 2010. Survey of Biosecurity Protocols and Practices Adopted by Growers on Commercial Poultry Farms in Georgia, U. S. A. *Avian Dis.* 54, 1007–1015. <https://doi.org/10.1637/9233-011210-Reg.1>
- Embretson, S.E., Reise, S.P., 2000. *Item Response Theory for Psychologists*. Psychology Press, Mahwah, New Jersey.
- Fink, J. da S., Mello, E.D. de, Beghetto, M.G., Luft, V.C., Castro, S.M. de J., Mello, P.D. de, 2017. Nutritional Assessment Score : A new tool derived from Subjective Global Assessment for hospitalized adults. *Clin. Nutr.* <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.02.019>
- Food and Agriculture Organization, 2010. Good practices for biosecurity in the pig sector - Issues and options in developing and transition countries., *FAO Animal Production and Health Paper No. 169*. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Organisation for Animal Health/World Bank.
- Hambleton, R.K., Robin, F., Xing, D., 2000. Item Response Models for the Analysis of Educational and Psychological Test Data, in: *Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling*. Elsevier, pp. 553–581. <https://doi.org/10.1016/B978-012691360-6/50020-3>
- Hays, R.D., Morales, L.S., Reise, S.P., 2000. Item response theory and health outcomes measurement in the 21st century. *Med Care* 38, II28-42. <https://doi.org/10.1007/s11103-011-9767-z>.Plastid
- Holtkamp, D., Lin, H., Wang, C., 2011. PADRAP : Production Animal Disease Risk Assessment - Program, in: *2011 AASV Annual Meeting: Evidence-Based Practice: How Do We Get There? AASV - American Association of Swine Veterinarians*, Phoenix, Arizona, pp. 521–524.
- Kabacoff, R.I., 2007. *Determining the Dimensionality of Data : A SAS ® Macro for*

Parallel Analysis Coders™ Corner, SUGI. Portland.

- Laanen, M., Beek, J., Ribbens, S., Vangroenweghe, F., Maes, D., Dewulf, J., 2010. Biosecurity on pig herds: development of an on-line scoring system and the results of the first 99 participating herds. *Vlaams Diergeneeskd. Tijdschr.* 79, 302–306.
- Laanen, M., Persoons, D., Ribbens, S., de Jong, E., Callens, B., Strubbe, M., Maes, D., Dewulf, J., 2013. Relationship between biosecurity and production/antimicrobial treatment characteristics in pig herds. *Vet. J.* 198, 508–512. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.08.029>
- Laanen, M., Ribbens, S., Maes, D., 2011. Quantification of biosecurity status in pig herds using an online scoring system. *Sustain. Livest.*
- Linden, W.J. van der, 2016. Unidimensional Logistic Response Models, in: Linden, W.J. van der (Ed.), *Handbook of Item Response Theory*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL, p. 607.
- Lumley, T., 2004. Analysis of Complex Survey Samples. *J. Stat. Softw.* 9, 1–19. [doi:10.18637/jss.v009.i08](https://doi.org/10.18637/jss.v009.i08)
- MAPA, 2012. Instrução normativa n. 19. Brazilian law published on 15/02/2002. Brazil.
- Mark Nord, 2014. *Introduction to Item Response Theory applied to Food Security Measurement*. Food Agric. Organization.
- Nespeca, R., Vaillancourt, J.P., Morrow, W.E., 1997. Validation of a poultry biosecurity survey. *Prev. Vet. Med.* 31, 73–86.
- OIE, 2017. World Animal Health Information Database (WAHIS) Interface [WWW Document]. URL http://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Countryinformation/Animalsituation (accessed 12.27.17).
- Otte, J., Roland-Holst, D., Pfeiffer, D., Soares-Magalhaes, R., Rushton, J., Graham, J., Silbergeld, E., 2007. *Industrial Livestock Production and Global Health Risks, Pro-Poor Livestock Policy Initiative: A Living from Livestock RR Nr 07-09*.
- Pinto, C.J., Urcelay, V.S., 2003. Biosecurity practices on intensive pig production systems in Chile. *Prev. Vet. Med.* [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(03\)00074-6](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(03)00074-6)
- Postma, M., Backhans, A., Collineau, L., Loesken, S., Sjolund, M., Belloc, C., Emanuelson, U., Grosse Beilage, E., Stark, K.D.C., Dewulf, J., 2015. The biosecurity status and its associations with production and management characteristics in farrow-to-finish pig herds. *Animal* 1–12. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002487>
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., Vaillancourt, J.-P., 2012. Evaluation of the

- relationship between personality traits, experience, education and biosecurity compliance on poultry farms in Québec, Canada. *Prev. Vet. Med.* 103, 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.08.011>
- R Foundation for Statistical Computing, Vienna, A.I. 3-900051-07-0, 2011. R Development Core Team. *R A Lang. Environ. Stat. Comput.* 55, 275–286.
- Ramirez, A., Zaabel, Z., 2012. *Swine Biological Risk Management*.
- Reise, S.P., Revicki, D.A., 2014. *Handbook of Item Response Theory Modeling: Applications to Typical Performance Assessment*. Routledge, New York, NY.
- Ribbens, S., Dewulf, J., Koenen, F., Mintiens, K., De Sadeleer, L., de Kruif, A., Maes, D., 2008. A survey on biosecurity and management practices in Belgian pig herds. *Prev. Vet. Med.* 83, 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.07.009>
- Romagosa, A., 2017. Applied review on evidence-based biosecurity, in: 48th Annual Meeting of the American Association of Swine Veterinarians. pp. 5–11.
- Signorell, A., 2017. DescTools: Tools for descriptive statistics. R package version 0.99.20. CRAN.
- Simon-Grifé, M., Martín-Valls, G.E., Vilar, M.J., García-Bocanegra, I., Martín, M., Mateu, E., Casal, J., 2013. Biosecurity practices in Spanish pig herds: Perceptions of farmers and veterinarians of the most important biosecurity measures. *Prev. Vet. Med.* 110, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.11.028>
- Sobestiansky, J., 2002. *Sistema Intensivo de Porudção de Suínos: Programa de Biossegurança*. Goiânia - Goiás.
- Van Steenwinkel, S., Ribbens, S., Ducheyne, E., Goossens, E., Dewulf, J., 2011. Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread. *Prev. Vet. Med.* 98, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.12.004>
- Zang, Y.T., Tan, Y.P., Hu, Y.N., Lu, C.H., 2012. Construction of index system for external risk factors of disease on large-scale farm based on the analytic hierarchy process. *Procedia Eng.* 37, 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.239>

Tables

Table 1. Description and summary statistics by category of the biosecurity practices evaluated in the 604 sampled farms from a target population of 3943 farms.

(be continued)

Biosecurity practices	Practice frequency	SE*
Segregation	49.3% [†]	
Neighbors do NOT own / raise pigs	58.6%	0.03
Presence of a sign forbidding the entrance (sign plate)	37.7%	0.02
Farm has unique access (single entrance)	43.2%	0.03
Land coverage around the farm	62.3%	0.03
Perimetral fence around the farm or barn	43.8%	0.02
Bird-proof nets in the barns	42.2%	0.03
Feed bin outside of the barn limit (external feed loading)	51.9%	0.03
Written instructions for visitors in the entrance (protocol)	38.4%	0.03
Frequency of visitor entry (Rarely)	94.0%	0.01
Visitor bath (shower-in)	12.4%	0.02
Dressing room near the main entrance (bathroom)	40.0%	0.03
Dressing room with delimited clean and dirty zones	18.4%	0.02
Sanitary disinfection ford for vehicles (e.g. truck, car)	1.7%	0.00
Parking outside the farm (guest parking)	50.6%	0.03
Transit of trucks inside the farm is prohibited	48.9%	0.03
Entry of trucks already transporting pigs is prohibited	59.6%	0.03
Trucks are dedicated to each production purpose	93.0%	0.02
Driver does NOT have access into the farm	90.8%	0.01
Sanitation	35.0% [†]	
Disinfection chamber for materials	8.1%	0.02
Visitor use clothes and boots provided by the farm	31.0%	0.02
Staff use clothes and boots provided by the farm	34.4%	0.03
Truck cleaning / disinfection (farm entrance)	3.4%	0.01
Water chlorination	77.4%	0.02
Animal water monitoring by physical and chemical analysis	51.4%	0.03
Disinfection of materials (farm entrance)	39.6%	0.03
Management practices	67.5% [†]	
Raise another animal species with commercial purposes (NO)	63.7%	0.03
Employee (s) do NOT have contact with other production animals	17.0%	0.02
Single source for animal replacement or growing/finishing flows	29.4%	0.03

Table 1. Description and summary statistics by category of the biosecurity practices evaluated in the 604 sampled farms from a target population of 3943 farms.

(be continued)

Biosecurity practices	Practice frequency	SE*
All-in/All out management	96.5%	0.01
Exclusive equipment per barn	70.2%	0.03
Separates sick animals in a pen (sick pen)	94.2%	0.01
Rodent control is performed	96.9%	0.01
Flies control is performed	68.8%	0.03
Sanitation and management practices training	72.2%	0.03
Glove for handling dead animals	66.5%	0.03

*Standard error.

†Average frequency of adoption by category (all biosecurity practices of the category)

Table 2. Variables related to farm and owner characteristics (variables of interest) used to characterize the sample and to evaluate associations with the biosecurity score.

Variable	Definition
Herd type	Classification of production sites in intensive swine production: nucleus herd, breeding herd, nursery sites, finishing sites or farrow-to-finish herds.
Swine industries (production system)	Set of farms divided by herd type that produce for a single company. Farms can be owned by the company or contracted by the company.
Property size	Property size in hectare.
Number of hogs	The number of hogs on the swine farm at the time of the survey.
Number of employees	Number of employees dedicated to the swine farm.
Farm age	Age of swine farm facilities (e.g buildings).
Education level	Category of education level of the swine farm owner.
Years of experience	Number of years in swine production of the farm owner.

Table 3. Descriptive statistics of farms characteristics described in table 2 for the target population according to herd type given the sampled performed in 604 farms.

Farm characteristics	Herd type‡					Population
	1 - Nucleus herds§	2 - Breeding herds	3 - Nursery sites	4 - Finishing sites	5 - Farrow-to-finish herds§	
Sampled herds	41	172	176	198	17	604
Target population	41	381	269	3235	17	3943
<i>Sampling fraction (%)</i>	100.0%	45.9%	65.4%	6.1%	100.0%	7.7%
Property size (ha)						
Mean (SE*)	46.9	26.82 (2.2)	17.8 (0.7)	23.2 (1.4)	83.9	23.7 (1.2)
Number of hogs						
Mean (SE*)	5541.0	2043.8 (110.6)	1720.3 (49.2)	739.8 (54.4)	722.8	982.3 (46.1)
Number of employees						
Mean (SE*)	11.0	5.3 (0.2)	2.3 (0.1)	1.8 (0.1)	3.1	2.3 (0.1)
Farm age						
Mean (SE*)	15.7	22.1 (0.7)	12.0 (0.4)	13.4 (0.6)	40.9	14.3 (0.5)
Education†	15	240	187	2314	15	2772
Less than 5 years	33%	37%	45%	51%	60%	49%
Primary school completed	33%	27%	22%	23%	20%	23%
Secondary school completed	33%	28%	27%	23%	20%	24%
Higher education completed	0%	8%	6%	4%	0%	4%
Years of experience in swine production†						
Mean (SE*)	23.6	27.5 (0.8)	20.8 (1.4)	25.1 (1.4)	43.3	25.1 (1.1)

‡Proportion are described by herd type.

*Standard error.

§A census was conducted on the properties of these categories.

†Variable related to the farm owner.

Table 4. Selected variables during the recursive selection process to compose the TRI model to estimate the biosecurity score (latent trait). Below are the estimated parameters (a_i and b_i) and the standard error of each biosecurity practice (item).

n	Biosecurity items	a_i^\dagger	(SE)*	b_i^\ddagger	(SE)*
Segregation					
1	Dressing room near the main entrance (bathroom)	2.44	(0.26)	0.32	(0.16)
2	Dressing room with delimited clean and dirty zones	1.96	(0.24)	1.21	(0.22)
3	Visitor bath (shower-in)	2.25	(0.30)	1.38	(0.30)
4	Transit of trucks inside the farm is prohibited	2.23	(0.24)	0.07	(0.14)
5	Parking outside the farm (guest parking)	1.63	(0.17)	-0.01	(0.12)
6	Presence of a sign forbidding the entrance (sign plate)	1.03	(0.13)	0.56	(0.10)
7	Perimetral fence around the farm or barn	3.44	(0.42)	0.18	(0.21)
8	Farm has unique access (single entrance)	1.74	(0.18)	0.27	(0.13)
9	Sanitary disinfection for vehicles (e.g. truck, car)	1.57	(0.43)	3.30	(0.66)
10	Feed bin outside of the barn limit (external feed loading)	3.01	(0.34)	-0.04	(0.18)
11	Bird-proof nets in the barns	1.31	(0.15)	0.34	(0.11)
Sanitation					
12	Visitor use clothes and boots provided by the farm	1.26	(0.15)	0.83	(0.12)
13	Staff use clothes and boots provided by the farm	0.91	(0.12)	0.84	(0.10)
14	Truck cleaning / disinfection (farm entrance)	0.89	(0.26)	4.15	(0.31)

[†]a: parameter of slope (discrimination).

[‡]b: parameter of position (importance).

*SE: standard error of estimate.

Table 5. Description of farm characteristics between the farms with estimated biosecurity score below the 10th percentile ($\theta = -1.37$) and above the 90th percentile ($\theta = 1.66$).

Farm characteristics *	≤ 10 th percentile	≥ 90 th percentile
	n=66	n=63
Herd type (n=129)		
1 - Nucleus herds (%)	0 (0.0)	29 (46.0)
2 - Breeding herds (%)	30 (45.5)	19 (30.2)
3 - Nursery sites (%)	8 (12.1)	11 (17.5)
4 - Finishing sites (%)	22 (33.3)	4 (6.3)
5 - Farrow to finish herds (%)	6 (9.1)	0 (0.0)
Company (swine industry)		
C1 (%)	7 (10.6)	8 (12.7)
C2 (%)	24 (36.4)	1 (1.6)
C3 (%)	4 (6.1)	8 (12.7)
C4 (%)	1 (1.5)	1 (1.6)
C5 (%)	1 (1.5)	22 (34.9)
C6 (%)	0 (0.0)	1 (1.6)
C7 (%)	1 (1.5)	17 (27.0)
C8 (%)	10 (15.2)	3 (4.8)
C9 (%)	18 (27.3)	0 (0.0)
C10 (%)	0 (0.0)	2 (3.2)
Property size (ha) (n=125)		
Mean (SD**)	38.0 (82.4)	37.6 (84.0)
Number of animals (n=129)		
Mean (SD**)	602.0 (826.3)	4544.0 (5004.7)
Number of employees (n=129)		
Mean (SD**)	2.1 (1.0)	8.5 (8.8)
Farm age (n=127)		
Mean (SD**)	20.8 (13.6)	16.1 (9.6)
Education† (n=80)		
Less than 5 years (%)	49	31
Primary school completed (%)	27 (55.1)	11 (35.5)
Secondary school completed (%)	13 (26.5)	9 (29.0)
Higher education completed (%)	8 (16.3)	9 (29.0)
Higher education completed (%)	1 (2.1)	2 (6.5)
Years of experience in swine production† (n=79)		
Mean (SD**)	48	31
Mean (SD**)	31.5 (16.9)	27.8 (13.8)

*The number of individuals varies according to socio-demographic characteristics due to the occurrence of missing values.

**Standard deviation.

†Variable related to the farm owner characteristics.

Table 6. Model results of the relationship between the biosecurity score and farm characteristics. ANOVA was performed for categorical independent variables and linear regression models for continuous variables.

Farm characteristics¹	Estimate²	CI 95%	P value	Adjusted R²
Herd type (n=604)			<0.001	0.24
1 - Nucleus herds	1.78 ^a	[1.40 ; 2.16]		
2 - Breeding herds	0.10 ^c	[-0.08 ; 0.29]		
3 - Nursery sites	0.42 ^b	[0.24 ; 0.60]		
4 - Finishing sites	-0.08 ^{cd}	[-0.25 ; 0.09]		
5 - Farrow-to-finish herds	-0.62 ^d	[-1.21 ; -0.04]		
Company (swine industry) (n=604)			<0.001	0.37
C1	0.27 ^{bc}	[-0.02 ; 0.55]		
C2	-0.73 ^d	[-1 ; -0.46]		
C3	0.43 ^b	[0.14 ; 0.72]		
C4	0.24 ^{abcd}	[-0.95 ; 1.44]		
C5	1.10 ^a	[0.86 ; 1.33]		
C6	0.24 ^{bc}	[-0.2 ; 0.67]		
C7	0.67 ^b	[0.44 ; 0.91]		
C8	-0.12 ^c	[-0.4 ; 0.16]		
C9	-0.67 ^d	[-0.97 ; -0.37]		
C10	0.51 ^{abc}	[-0.4 ; 1.41]		
Property size (ha) (n=592)	0.0021	[0.0004 ; 0.0037]	0.01	0.01
Number of hogs (n=604)	0.0002	[0.0001 ; 0.0002]	<0.001	0.20
Number of employees (n=602)	0.08	[0.06 ; 0.09]	<0.001	0.18
Farm age (n=594)	0.01	[0.00 ; 0.01]	0.06	0.01
Education³ (n=405)			<0.001	0.03
Less than 5 years	0.01 ^b	[-0.18 ; 0.19]		
Primary school completed	0.15 ^b	[-0.10 ; 0.41]		
Secondary school completed	0.32 ^a	[0.07 ; 0.57]		
Higher education completed	0.39 ^a	[-0.17 ; 0.95]		
Years of experience in swine production[†] (n=401)	0.002	[-0.001 ; 0.006]	0.16	0.01

¹The number of individuals varies according to variables of interest due to the occurrence of missing values.

²Comparison between groups: different letters mean difference between groups at 0.05 significance level using Tukey (herd type and company) and Scott-Knott (education) post hoc test.

³Variable related to the farm owner characteristics.

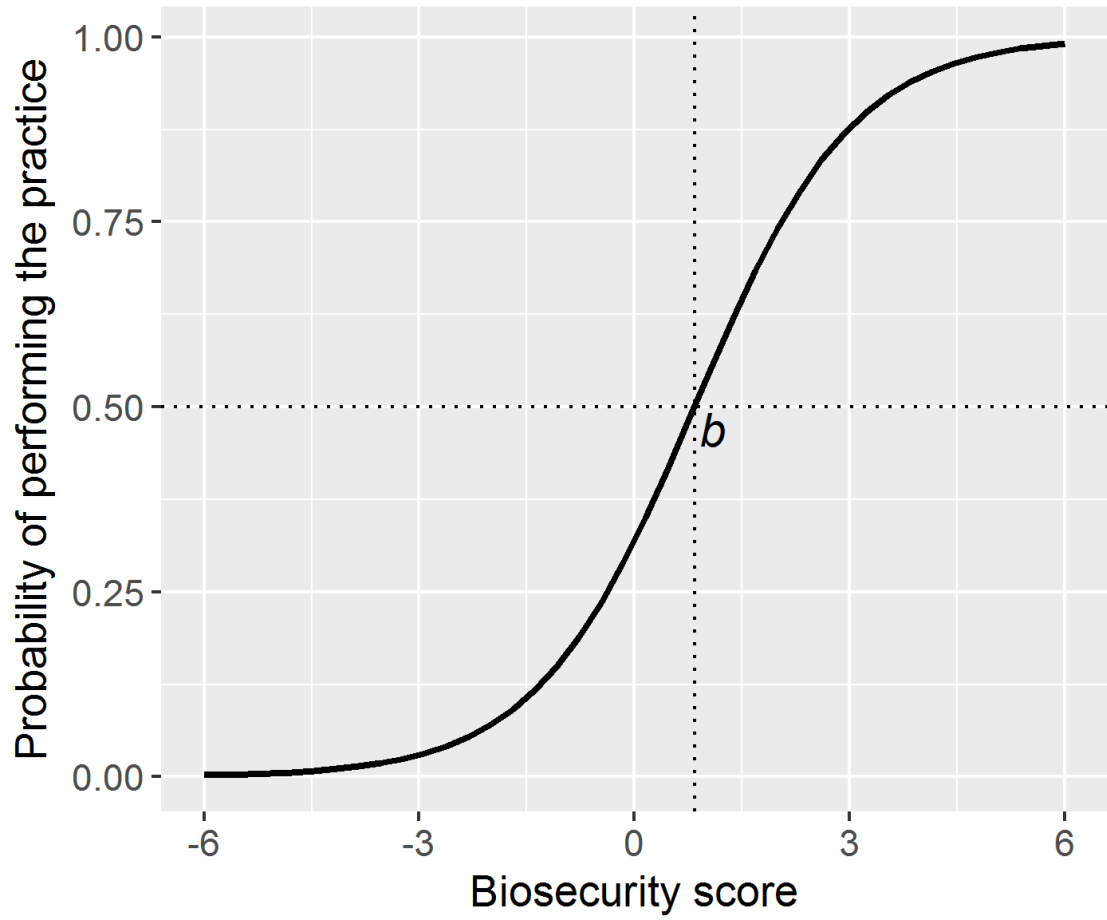
Figure

Figure 1. Characteristic curve of the item “Staff use clothes and boots provided by the farm”. Biosecurity score: level of the latent trait (biosecurity level). Scale with mean 0 and standard deviation 1.

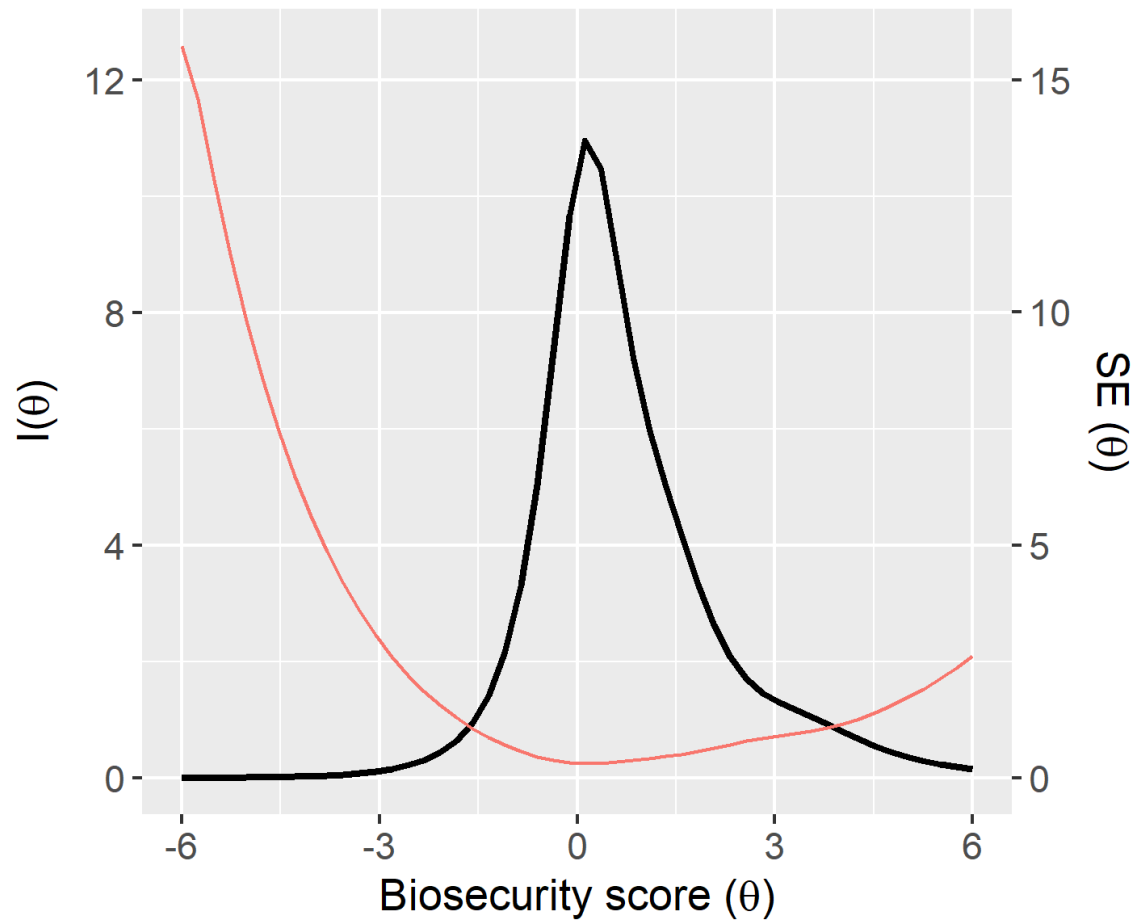


Figure 2. Information curve ($I(\theta)$) of the biosecurity score derived by IRT analysis. Biosecurity score (θ): intensity of the latent trait. $SE(\theta)$: Standard error (red line). Scale with mean 0 and standard deviation 1.

4.2.1. Supplementary Material

Table A. Definition and classification of the selected biosecurity practices used to evaluate pig farms.

Table B. Descriptive statistics of farms characteristics described in table 2 for farms sampled ($n = 604$) according to herd type.

Table C. Frequency of biosecurity practices in farms among the best (≥ 90 th percentile) and worst scores (≤ 10 th percentile) based on TRI scores.

Panel A. Item characteristic curves for the items of the model described in Table 2.

Table A. Definition and classification of the selected biosecurity practices used to evaluate pig farms.

(be continued)

n	Biosecurity practices	Definition
Segregation		
1	Neighbors do NOT own / raise pigs	= 1 if the neighbors around the site does NOT raise pigs.
2	Presence of a sign forbidding the entrance (sign plate)	= 1 if the site has a forbidden entry plate.
3	Farm has unique access (single entrance)	= 1 if to enter the farm the access is only one (e.g. one door, one gate, one building)
4	Land coverage around the farm	= 1 if the site has land coverage (shrubs and trees) around or to delimit the property.
5	Perimetral fence around the farm or barn	= 1 if the site has a fence that delimits the surroundings of the farm or barn
6	Bird-proof nets in the barns	= 1 if the barns have good bird-proof nets to avoid birds inside the barns
7	Feed bin outside of the barn limit (external feed loading)	= 1 if there is a feed bin that allows feed loading from the outside (vehicle does not enter the property)
8	Written instructions for visitors in the entrance (protocol)	= 1 if there is a protocol for visitors to follow to enter the farm.
9	Frequency of visitor entry (Rarely)	= 1 if RARELY is allowed the entrance of visitors in the facilities (frequency)
10	Visitor bath (shower-in)	= 1 if visitors shower-in to enter the site
11	Dressing room near the main entrance (bathroom)	= 1 if the farm has bathroom/toilet in conditions of use
12	Dressing room with delimited clean and dirty zones	= 1 if there is a separation between the clean and dirty area to enter the farm (Danish system)
13	Sanitary disinfection ford for vehicles (e.g. truck, car)	= 1 if you have a sanitary disinfection bow for vehicles in conditions of use
14	Parking outside the farm (guest parking)	= 1 if you have parking for visitors outside the farm boundary
15	Transit of trucks inside the farm is prohibited	= 1 if truck traffic inside the farm is NOT allowed

Table A. Definition and classification of the selected biosecurity practices used to evaluate pig farms.

(be continued)

n	Biosecurity practices	Definition
16	Entry of trucks already transporting pigs is prohibited	= 1 if the entry of trucks already transporting pigs from other sites is NOT allowed
17	Trucks are dedicated to each production purpose	= 1 if trucks are dedicated exclusively for each production purpose (e.g. breeding, nursery, finishing)
18	Driver does NOT have access into the farm	= 1 if the driver does NOT have access to the inside of the farm during loading or unloading
Sanitation (cleaning and disinfection)		
19	Disinfection chamber for materials	= 1 if the site has a disinfection chamber to materials before entering to the farm
20	Visitor use clothes and boots provided by the farm	= 1 if visitors use farm-specific clothing
21	Staff use clothes and boots provided by the farm	= 1 if employees use farm-specific clothing
22	Truck cleaning / disinfection (farm entrance)	= 1 if disinfection of trucks (feed or animals) is frequently performed before entering the farm
23	Water chlorination	= 1 if the farm performs water chlorination of animal water
24	Animal water monitoring by physical and chemical analysis	= 1 if the farm performs physical and chemical analysis of animal water
25	Disinfection of materials (farm entrance)	= 1 if disinfecting materials is frequently carried out before being introduced to the farm
Flow management		
26	Raise another animal species with commercial purposes (NO)	= 1 if the same property is NOT integrated/cooperated with another animal species
27	Employee (s) do NOT have contact with other production animals	= 1 if the employees do NOT have contact with other production animals (ruminants and chicken)
28	Single source for animal replacement or growing/finishing	= 1 if animal replacement or growing/finishing flows has unique origin

Table A. Definition and classification of the selected biosecurity practices used to evaluate pig farms.

(be continued)

n	Biosecurity practices	Definition
	flows	
29	All-in/All out management	= 1 if All-in/All out management is performed between batches
30	Exclusive equipment per barn	= 1 if the equipment is used exclusively for each barn
31	Separates sick animals in a pen (sick pen)	= 1 if the diseased animals are put together in a single pen (sick pen)
32	Rodent control is performed	= 1 rodent control is performed periodically
33	Flies control is performed	= 1 flies control is performed periodically
34	Sanitation and management practices training	= 1 there are training on sanitation or management practices
35	Glove for handling dead animals	= 1 if use of gloves when handling dead animals

Table B. Descriptive statistics of farms characteristics described in table 2 for farms sampled (n = 604) according to herd type.

(be continued)

Herd characteristics*	Herd classification					Overall
	1 - Nucleus herds	2 - Breeding herds	3 - Nursery sites	4 - Finishing sites	5 - Farrow to finish herds	
Number of herds	41	172	176	198	17	604
(%)	6.8%	28.5%	29.1%	32.8%	2.8%	100.0%
Company (n=10)[§]						
C1	4 (9.8%)	18 (10.5%)	13 (7.4%)	34 (17.2%)	1 (5.9%)	70 (11.6%)
C2	2 (4.9%)	45 (26.2%)	11 (6.3%)	20 (10.1%)	1 (5.9%)	79 (13.1%)
C3	8 (19.5%)	17 (9.9%)	4 (2.3%)	40 (20.2%)	-	69 (11.4%)
C4	-	1 (0.6%)	-	3 (1.5%)	-	4 (0.7%)
C5	12 (29.3%)	11 (6.4%)	62 (35.2%)	19 (9.6%)	1 (5.9%)	105 (17.4%)
C6	-	13 (7.6%)	8 (4.5%)	9 (4.5%)	-	30 (5.0%)
C7	9 (22.0%)	23 (13.4%)	26 (14.8%)	46 (23.2%)	-	104 (17.2%)
C8	4 (9.8%)	15 (8.7%)	43 (24.4%)	11 (5.6%)	-	73 (12.1%)
C9	-	28 (16.3%)	6 (3.4%)	15 (7.6%)	14 (82.4%)	63 (10.4%)
C10	2 (4.9%)	1 (0.6%)	3 (1.7%)	1 (0.5%)	-	7 (1.2%)
Property size (ha) (n=592)						
Mean (SD**)	46.9 (102.6)	26.6 (38.2)	18.0 (18.2)	23.2 (20.5)	83.9 (143.9)	26.0 (45.1)
Number of hogs (n=604)						
Mean (SD**)	5541.0 (6276.2)	2013.4 (2456.3)	1743.6 (1489.0)	724.3 (166.7)	722.8 (1290.0)	1715.0 (2564.1)

Table B. Descriptive statistics of farms characteristics described in table 2 for farms sampled (n = 604) according to herd type.

(be continued)

Herd characteristics*	Herd classification					Overall
	1 - Nucleus herds	2 - Breeding herds	3 - Nursery sites	4 - Finishing sites	5 - Farrow to finish herds	
Number of employees (n=602)	.	.	.	.	.	.
Mean (SD**)	10.95 (11.3)	5.26 (4.8)	2.3 (1.4)	1.8 (0.8)	3.1 (3.8)	3.6 (4.7)
Farm age (n=594)	.	.	.	.	.	.
Mean (SD**)	15.7 (10.1)	22.19 (13.0)	12.1 (8.2)	13.5 (9.0)	40.9 (22.2)	16.5 (12.2)
Education[†] (n=405)	15	109	123	143	15	405
Less than 5 years	33.3%	37.6%	45.5%	51.0%	60.0%	45.4%
Primary school completed	33.3%	27.5%	22.0%	23.1%	20.0%	24.2%
Secondary school completed	33.3%	27.5%	26.8%	22.4%	20.0%	25.4%
Higher education completed	0.0%	7.3%	5.7%	3.5%	0.0%	4.9%
Years of experience in swine production[†] (n=405)						
Mean (SD**)	23.6 (12.7)	27.2 (12.0)	21.0 (14.5)	24.9 (16.1)	43.3 (16.0)	25.0 (15.1)

*The number of individuals varies according to socio-demographic characteristics due to the occurrence of missing values.

**Standard deviation.

§Proportion are described by herd type.

†Variable related to the farm owner.

Table C. Frequency of biosecurity practices in farms among the best (≥ 90 th percentile) and worst scores (≤ 10 th percentile) based on TRI scores.

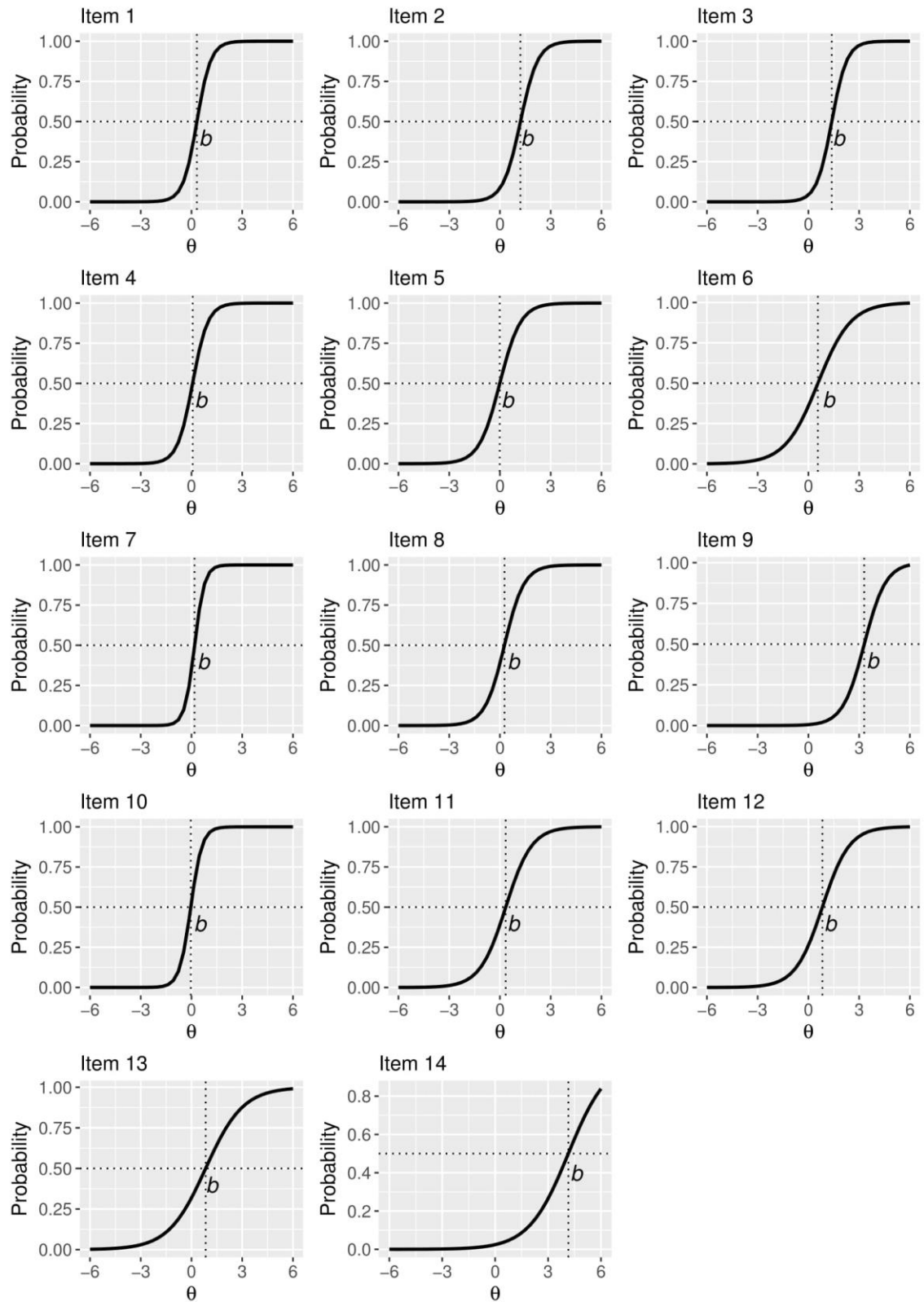
(be continued)

Biosecurity practice	Frequency of practices	
	≤ 10 th percentile	≥ 90 th percentile
Biosecurity score practices (TRI)		
Segregation		
Dressing room near the main entrance (bathroom)	0.0%	100.0%
Dressing room with delimited clean and dirty zones	0.0%	95.3%
Visitor bath (shower-in)	0.0%	96.0%
Transit of trucks inside the farm is prohibited	0.0%	98.4%
Parking outside the farm (guest parking)	0.0%	96.9%
Presence of a sign forbidding the entrance (sign plate)	0.0%	95.2%
Perimetral fence around the farm or barn	0.0%	100.0%
Farm has unique access (single entrance)	0.0%	100.0%
Sanitary disinfection ford for vehicles (e.g. truck, car)	0.0%	31.2%
Feed bin outside of the barn limit (external feed loading)	0.0%	100.0%
Bird-proof nets in the barns	0.0%	79.0%
Sanitation		
Visitor use clothes and boots provided by the farm	0.0%	98.3%
Staff use clothes and boots provided by the farm	0.0%	93.8%
Truck cleaning / disinfection (farm entrance)	0.0%	39.1%
Other practices		
Segregation		
Neighbors do NOT own / raise pigs	54.5%	69.4%
Land coverage around the farm	63.6%	73.0%
Written instructions for visitors in the entrance (protocol)	37.5%	69.4%
Frequency of visitor entry (Rarely)	80.3%	93.8%
Entry of trucks already transporting pigs is prohibited	24.6%	73.0%
Trucks are dedicated to each production purpose	96.6%	91.9%
Driver does NOT have access into the farm	65.2%	100.0%
Sanitation		
Disinfection chamber for materials	4.5%	50.0%
Water chlorination	56.1%	85.9%
Animal water monitoring by physical and chemical analysis	38.5%	78.1%
Disinfection of materials (farm entrance)	47.0%	68.8%

Table C. Frequency of biosecurity practices in farms among the best (≥ 90 th percentile) and worst scores (≤ 10 th percentile) based on TRI scores.

(be continued)

Biosecurity practice	Frequency of practices	
	≤ 10 th percentile	≥ 90 th percentile
Flow management		
Raise another animal species with commercial purposes (NO)	66.7%	87.5%
Employee (s) do NOT have contact with other production animals	11.1%	61.7%
Single source for animal replacement or growing/finishing flows	18.2%	59.4%
All-in/All out management	73.8%	92.9%
Exclusive equipment per barn	66.7%	51.6%
Separates sick animals in a pen (sick pen)	74.2%	85.9%
Rodent control performed	86.4%	100.0%
Flies control performed	72.7%	92.2%
Sanitation and management practices training	66.7%	93.8%
Glove for handling dead animals	54.5%	90.6%

Panel A. Item characteristic curves for the items of the model described in Table 2.

4.3. Parte 3: Artigo 2 – Development and validation of a scoring system to assess the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of PRRS virus⁶

⁶ Artigo submetido à revista científica *Preventive Veterinary Medicine*. A formatação do artigo segue as normas da revista em questão. Este estudo relata à utilização de um método multicritérios para avaliação da vulnerabilidade frente à introdução do vírus da PRRS em granjas suínas dadas as práticas de biossegurança externas utilizadas.

Development and validation of a scoring system to assess the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of PRRS virus

Gustavo S. Silva^{1,2}, Luis G. Corbellini², Daniel L. C. Linhares¹, Kimberlee L. Baker¹, and Derald J. Holtkamp^{1*}

¹Veterinary Diagnostic and Production Animal Medicine Department, Iowa State University, Ames, Iowa;

²Laboratory of Veterinary Epidemiology (Epilab), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

* Corresponding author:

E-mail: holtkamp@iastate.edu (D.J.H)

Abstract

Biosecurity is defined as the set of practices carried out to prevent the introduction and spread of infectious agents in a herd. These practices are essential in swine production, especially for highly infectious agents such as porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSv). Even with years of research and experience over the last three decades, PRRSv is still causing productivity losses and is the major health problem affecting the global swine industry. Despite knowledge of the various ways in which the virus can be transmitted from one herd to another (e.g. animals, semen, truck, air, and people), determining the most frequent ways in which the virus is transmitted in the field is difficult. A systematic approach to assess vulnerabilities at a herd level related to PRRSv transmission could help producers prioritize biosecurity practices to reduce or avoid the occurrence of outbreaks. The aim of this study was to develop a biosecurity vulnerability score that represents the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of PRRSv. A multi-criteria decision analysis methodology was used to rank and quantify biosecurity practices based on expert opinion. To validate the biosecurity vulnerability score, a survey of biosecurity practices and PRRS outbreak histories in 125 breed-to-wean herds in the U.S. swine industry was used. Data on the frequency of PRRS outbreaks was used to test the hypothesis that biosecurity vulnerability scores were different between farms that have a low incidence of PRRS outbreaks, compared to farms that have a high incidence. In the two databases used, the scores consistently showed that farms with higher scores have a higher frequency of PRRS outbreaks. The biosecurity vulnerability scores may be useful to assess vulnerabilities on biosecurity protocols in order to reduce the frequency of PRRS outbreaks and may help producers and veterinarians prioritize investments in improving biosecurity practices over time.

Keywords: biosecurity, swine farms, PRRS, biosecurity vulnerability score, risk events, carrying agents.

1. Introduction

In modern veterinary practice, disease prevention in livestock populations has become increasingly more important (Noordhuizen and Frankena, 1999). This change in focus includes the adoption of biosecurity practices, which are defined as “the implementation of practices that reduce the risk of disease agents being introduced and spread into a population” (Food and Agriculture Organization, 2010).

Previous studies have demonstrated the effect of biosecurity on prevention or reduction of disease incidence (Alonso et al., 2013; Amass, 2004; Hagenaaars, 2008). However, evaluation of biosecurity practices on pig farms is extremely complex. Pathogens can be introduced into pig farms in different ways (Pileri and Mateu, 2016) and the effectiveness of specific biosecurity practices depends on the characteristics of the herd, characteristics of the premises, and surrounding areas and connections to other swine premises.

Porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) continues to be a major health challenge in U.S. herds since it was first reported in 1989 (Keffaber, 1989). While the incidence in the U.S. has declined in recent years (Morrison et al., 2015), the prevalence continues to increase over time (SHMP, 2017) and PRRS virus (PRRSv) still causes significant economic losses worldwide (Holtkamp et al., 2013; Nathues et al., 2017). PRRSv can be transmitted between farms via different risk events including swine movements, pickup and deliveries of supplies from or to farms, people movement, contact with other animals, air and water (Otake et al., 2002; Perez et al., 2015; Zimmerman et al., 2012).

Herd-specific biosecurity assessments are useful to determine how PRRSv may be introduced in swine herds and research is needed to quantify the relative importance of specific biosecurity practices to reduce the frequency of outbreaks. Biosecurity

assessments have been used to identify relevant risk factors of disease spread onto swine farms (Bottoms et al., 2013; Holtkamp et al., 2011; Laanen et al., 2013; Sternberg Lewerin et al., 2015). However, identifying the vulnerabilities to PRRSv introduction specific to a certain production system and developing a generalized score that accounts for all major risk events is an intrinsically complex process.

Given the complexity of evaluating biosecurity practices to prevent the introduction of PRRSv, applying a technique that uses multiple factors to score swine breeding herds based on their relative vulnerability to PRRSv introduction would be beneficial for prioritizing and identifying gaps in biosecurity practices and predicting the frequency of outbreaks. Several methods exist to evaluate these factors, allowing for a ranking of specific factors by relative importance. One method by which to do this is multi-criteria decision analyses (MCDA) (Belton and Stewart, 2002), which has been applied extensively in a variety of fields (Santos et al., 2017; Steele et al., 2009; Thokala et al., 2016), including to assess vulnerability (Cardona, 2003; Joerin et al., 2010). MCDA was chosen for the present study because it provides a systematic way to integrate information from a range of sources, compare scenarios and prioritize decisions (Cox et al., 2013).

The objective of this study was to develop a biosecurity vulnerability score (BVS) that represents the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of PRRSv. To validate the BVS, a survey of biosecurity practices and PRRS outbreak histories in 125 breed-to-wean herds in two different populations in the U.S. was used. Data on the frequency of PRRS outbreaks was used to test the hypothesis that BVS were different between farms that have a low incidence of PRRS outbreaks, compared to farms that have a high incidence.

2. Material and Methods

2.1. Study design

A MCDA-based biosecurity scoring system was developed based on expert opinion and validated. The MCDA structure was used to establish the hierarchical order of the risk events related to PRRSv introduction into breeding herds. An expert opinion panel was used to obtain the relative importance between the risk events. The validation was made in two steps using a survey to collect biosecurity data and PRRS outbreak histories from 125 breed-to-wean operations in the U.S. swine industry from two distinct populations. Data on frequency of PRRS outbreaks was compared to the BVS.

2.2. Development of the biosecurity vulnerability score (BVS)

2.2.1 Definitions and hierarchical order of risk events.

For the purpose of this study, vulnerability was defined as a measure of the weaknesses in biosecurity practices that can result in PRRSv introduction into a pig population (Cardona, 2003). For this study, biosecurity practices are those applied to prevent or reduce the risk of disease introduction, also known as bioexclusion practices or external biosecurity.

Risk events (RE) were defined as events that engender a threat of introducing PRRSv in a population of pigs, where one or more carrying agents can be involved (Table 1). For example, risk events include: delivery of semen to farms, delivery of breeding replacement animals, and entry of on-farm employees. Carrying agent (CA) was defined as anything that may carry PRRSv into a farm (e.g. semen, livestock trailer, driver, feed and employees) (Table 1) by being infected or contaminated with the virus. The risk events were first grouped, based on their similarity, to represent each category of risk events (CRE) related to PRRSv' introduction: 1) swine movements; 2) pickup/deliveries; 3) people movement; 4) pork/food product entry; 5) manure removal;

6) contact with wild animals, domestic animals and insects; and 7) air and water (Table 1).

In order to organize the model, a MCDA-based structure was used to hierarchize the category of risk events, risk events and carrying agents. Each category of risk events (CRE_k), designated in this study as first-level, was composed of one or more risk events (RE_j). First-level categories are influenced by second-level risk events and the second by the third level comprised of the carrying agents (CA_i) for each of the risk events. The risk events and their carrying agents were established based on the common events that occur on swine breeding herds and data from literature (Table A in Supplement File).

2.2.2 Experts weighting.

The opinions of four experts from the Department of Veterinary Diagnostic and Production Animal Medicine at Iowa State University were used and the weights were derived from their opinion. The experts had documented knowledge on PRRSV transmission and experience with swine production. Each expert received 16 comparison matrices (Microsoft Excel 2010), which were grouped in the 3 hierarchical definitions: 1) categories of risk events (n=1 matrix); 2) risk events (n=5 matrices), and 3) carrying agents (n=10 matrices). Each comparison matrix is formed by factors, defined as the variables that are evaluated relative to each other. For example, the level 1 (CRE) has seven factors that are compared to each other (Table 2).

The comparisons followed the analytical hierarchy process (AHP) algorithm (Saaty, 1990, 1977), where a series of pairwise comparisons to set the relative importance between the factors is performed. These experts were requested to perform the comparisons between the factors in each comparison matrix using a qualitative scale. One of the uses of a hierarchy is that it allows focusing judgment separately on each of several factors. The most effective way to concentrate judgement is to take a

pair of factors and compare them on a single property without concern for the other factors involved. Table 2 is an example of the comparison matrix used to establish the relative importance between the first level factors (CRE) made by one expert. The relative importance of each factor was assigned a numerical value, from 1/9 to 9, reflecting the strength of preference scale for each factor. A numerical value of 1 indicates that both factors were of equal importance. In Table 2, for example, the expert judged that the category of events related to people movements (CRE 3) were moderately less important (1/3) relative to the category of events related to swine movements (CRE 1) for the introduction of PRRSv into a herd.

Once the comparisons are established, matrix operations are performed according to Saaty's methodology (Saaty, 1977) to produce a set of weights that sum to one. The qualitative scale used by the experts (Table 2) are converted into numbers defined by the method and the sum of each column (factor) is performed (step 1) (Saaty, 1980). The second step included the calculation of the weights using normalized geometric average of lines of the comparison matrix. Lastly, the principal eigenvector of the comparison matrix is then determined and serves to represent the priorities of the factors that comprise the comparison matrix (step 3). An example of how expert opinion (Table 2) resulted the weights used in the model is described in table B in Supplement File (AHP weight matrix). The weights for the RE_j and CA_i were also obtained through this process.

A consistency ratio (Saaty, 1977) was calculated to determine the degree of consistency of each expert's comparison matrix judgements. The consistency ratio, indicates the probability that the matrix ratings were randomly generated. Saaty (Saaty, 1977) demonstrated that matrices with consistency ratio ratings greater than 0.10 should be reevaluated. In our study, only matrices with consistency ratios equal to or lower

than 0.10 were considered. The average weight value of all the risk factors and pathways for all the experts were used as an input for the model.

2.2.3 Biosecurity practice survey

The survey used to assess biosecurity practices was developed through the PRRS Outbreak Investigation Program, funded by the Iowa Pork Producers Association (Canon et al., 2015). The survey is described in table C in Supplement File. The survey included questions about biosecurity practices for each carrying agent.

2.2.4 Biosecurity vulnerability score (BVS) framework.

The MCDA-based model was composed of three hierarchical levels: CRE_k, RE_j, and CA_i, with weights established by expert opinion (Table 3 and 4). The weights and frequencies with which the biosecurity practices were applied were used to calculate the BVS via the following method:

The first equation (Eq. 1) was used to calculate the score for a given risk event by multiplying the biosecurity practices (BP_i) by the assigned weight for the carrying agent (W_CA_i) (Table 4) and the risk event weight (W_RE_j) (Table 3). For the cases in which risk events had only a single carrying agent (Table 1), the carrying agent weight (W_CA_i) was 1 and the biosecurity practices were weighted directly by W_RE_j.

For the biosecurity practices value (BP_i), the absence of the practice was classified as 1 and the presence as 0. Because more than one biosecurity practice can be applied for a given carrying agent or risk event, these variables were considered of equal importance and were therefore additive. Thus, the biosecurity practices value (BP_i) had a value between 0 (presence of all practices) and 1 (absence).

$$Score RE_j = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n BP_{ij} * W_CA_i \right) * W_RE_j \quad (1)$$

where *Score RE_j* represents the risk event score for the *j*-th risk event; *BP_{ij}* represents the *ij*-th biosecurity practices value, and *W_CA_i* and *W_RE_j* are the *i*-th and *j*-th relative

importance weighing within CA_i and RE_j . The W_{CA_i} is equal to 1 when the risk event has only a single carrying agent.

Once the scores for each RE_j were calculated, a score for each category of risk event (k) ($Score\ CRE_k$) was calculated as the sum of the $Score\ RE_j$ multiplied by the CRE weight (W_{CRE_k}) of each k risk category (Tables 3), to reflect the relative importance of each category of risk event (Eq. 2).

$$Score\ CRE_k = (\sum_{j=1}^n Score\ RE_j) * W_{CRE_k} \quad (2)$$

where $Score\ CRE_k$ represents the score for PRRSV introduction for each category of risk event (k); RE_j is the result of Eq. 1 and W_{CRE_j} is its weight within CRE_k .

The BVS was obtained as the sum of the CRE scores for each of the seven k categories of risk events.

$$BVS = \sum_{k=1}^7 (Score\ CRE_k) \quad (3)$$

where BVS represent the biosecurity vulnerability score for PRRSV introduction; CRE_k is the result of Eq. 2 for each category of risk events (first level).

The result was a BVS between 0 and 1, which was obtained in the same way for each category of risk event; the closer the score to one meaning the greater the vulnerability of the herd to PRRSV introduction. In addition, the method allows to identify the $Score\ CRE_k$ that most influenced the value of the BVS, that is, the CRE_k that presented the highest value of the BVS. In Table D in Supplement File, the BVS and CRE_k scores for each farm are described. The Table D describes the values as a scale varying from 0 to 1 on which farms are ranked based on their BVS and CRE_k scores. The BVS values are ranked by farm, within column, and CRE_k scores are ranked by risk event category, within row, both from the highest to lowest.

2.3 Validation

2.3.1 *First step validation – Outbreak investigation data.*

The biosecurity survey was used to collect data on biosecurity practices from 41 breeding herds that participated in an outbreak investigation program (Canon et al., 2015) in 2015 and 2016. The information on biosecurity practices collected with the survey was used to calculate the BVS for each herd. Herds were grouped by the number of reported PRRS outbreaks in the previous 5 years for the purpose of comparing the reported frequency of outbreaks to the BVS scores (Table 5 and Figure 1).

2.3.2 *Second step validation – Case-control study.*

A case-control study was performed with the objective to test the hypothesis that biosecurity scores were different between farms that had a relatively low incidence of PRRS outbreaks (control), compared to farms that had a relatively high incidence (case). Swine production systems were invited to enroll breeding herds that fulfill the eligibility criteria: (1) PRRS status of the breeding herd since 2013 is available; (2) the breeding herd is willing to complete a biosecurity survey; and (3) the breeding herd is a farrow-to-wean farm. Each system (company) was asked to rank eligible breeding herds according to the number of PRRS outbreaks in the last three years. The farms were ranked based on the number of PRRS outbreaks by system; farms below the 25th percentile were classified as relatively low PRRS incidence (control) and farms beyond the 75th percentile were classified as relatively high PRRS incidence (case). Information from the first validation (Table 5) was used to calculate the sample size needed to detect a statistically difference in biosecurity scores. It was assumed that the control group would have at least a 0.05 mean difference in herd vulnerability scores compared to the case group and therefore the sample size required to detect this mean difference with a power of 80% at a significance level of 0.05 was 41 herds per group.

Each production system enrolled 3 herds in the case group and 3 herds in the control group (6 herds per production system). The proportion of case to control groups was 1:1 and herd selection was done using random sampling within each group after classifying the herds based on the history of past PRRS outbreaks. The same biosecurity survey previously described was used to collect information about herd demographics, biosecurity practices, history of PRRS outbreaks and frequency of risk events. Difference in number of PRRS outbreaks between groups was tested by means of an independent samples t test.

2.3 Statistical analysis

The BVS were calculated using Microsoft Excel. The association between groups, number of outbreaks in 5 years for the initial validation and high versus low incidence for the case-control study, and the BVS was tested using univariable linear mixed models with production system as a random effect. All analyses were done in R program (v. 3.3.3) using the packages *nlme*, *lsmeans* and *varComp*.

3. Results

Expert opinion - Weights

The results of the weighting procedure for the categories of risk events and for each risk event can be found in Table 3. The most important categories of risk events judged by the experts were those relating to swine movements (weight = 0.33), pickup/deliveries from/to premises (0.26) and people movement (0.15). The weights for the carrying agents (3rd level) are described separately in Table 4.

Given the hierarchical structure of the method, all risk events were ranked in order of importance with the weight of the risk events multiplied by its category weight. This order is included in the last column of Table 3 (Rank). The five most important

events that occur in breeding herds related to PRRSv introduction, as judged by the experts, were breeding replacement animals, semen delivery, air transmission, weaned pigs hauled from premises and dead animal's removal, respectively.

1st step validation: Outbreak investigation data

The mean BVS of all (n=41) herds was 0.43 (sd=0.09), herds that had never had an outbreak before had the lowest score of 0.29 (sd=0.09), while herds that had 4 or more outbreaks in the past 5 years had the highest score of 0.46 (sd=0.09) (Table 5). Additionally, the BVS for farms that did not report outbreaks differed significantly from farms that had 2 or more outbreaks of PRRS in previous years. Also, a moderately positive correlation (*Spearman* $r = 0.52$, $p\text{-value} = 0.0006$) was observed between the number of past outbreaks and the BVS (Figure 1).

2nd step validation: Case-control study

A total of 84 herds were enrolled from 14 production systems to investigate differences in biosecurity practices between groups. As described above, the criteria used to classify the herds was based on the number of PRRS outbreaks in the last three years by production system and the difference between the groups is described in Table 6.

The BVS as well as the score for each category of risk event is described in Table 7. The biosecurity score was statistically different between groups ($p < 0.003$). BVS for herds with a low incidence of PRRS outbreaks ranged from 0.12 to 0.46, with a mean of 0.30 and a standard error of 0.01. BVS from the case group varied between 0.20 (lower vulnerability) and 0.52 (higher vulnerability), with a mean of 0.35 and a standard error of 0.01. The BVS and the score for each category of risk event for individual herds is reported in Tab C (Supplemental File). Tab C also shows the rank of vulnerability scores for the herds from the least vulnerable (1) to the most vulnerable

(29) based on the scores distribution and for each category of risk event. For each herd studied, the last column of Tab C presents the category of risk event that most influenced the BVS. The results suggest that most farms in the control group had relatively higher scores for CRE 7 (23 of 42 herds) which represents more vulnerability to PRRSV transmission through air and water. In contrast, most of the farms in the case group demonstrated higher vulnerability to transmission by swine movements, CRE 1 (28 of 42 herds).

4. Discussion

The model described in this study provides a structured and consistent method to evaluate and rank the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of PRRS virus. This allows for the assessment of the relative importance of selected biosecurity practices and aids in the decision-making process to improve biosecurity.

To the authors' knowledge, this was the first time that MCDA analysis method was applied to rank the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of pathogens. In contrast to the other studies that have described generic biosecurity scoring systems (Laanen et al., 2011; Pinto and Urcelay, 2003; Postma et al., 2015; Zang et al., 2012), the method demonstrated here can be used to identify critical points in biosecurity protocols, which can help to establish practices to mitigate PRRSV introduction. The results suggest that expert opinion can be used to rank vulnerabilities to the introduction of pathogens at the herd level.

When evaluating biosecurity protocols to mitigate the risk of disease introduction, it is important to keep in mind the other herd-level risk factor characteristics that may have an impact on biosecurity failures that were not incorporated in our scores. Herd size characteristics and environmental factors (e.g. pig

density) are key determinants for health outcomes (Reeves, 2006), and the frequency and contact patterns of these determinants can increase the risk of disease occurrence. The BVS did not incorporate the frequency of events, in contrast to another scoring system reported in the literature (Laanen et al., 2010). However, it can be used to identify the most important risk factors that increase vulnerability and can also be used to predict relative vulnerability of different farms within a production system and/or region based on frequencies of risk events since the probability of introduction of pathogens increases as the frequency of risk events increases (Romagosa, 2017; Sternberg Lewerin et al., 2015).

This study provides methods to develop a pathogen-specific vulnerability score and compare aspects of biosecurity between groups of farms with relatively low or high frequency PRRS outbreaks. The results provide valuable information on possible categories of risk events that may need attention in addition to suggesting opportunities for biosecurity enhancement. The comparison between the group scores suggests that herds that had lower incidences of PRRS outbreaks in recent years had lower BVS, reinforcing the importance of biosecurity practices to prevent disease introduction (Amass, 2005; Postma et al., 2015; Visschers et al., 2015).

The BVS and $ScoreCRE_k$ allow for the relative comparison (ranking) of farms' vulnerabilities based on expert opinion and their biosecurity practices but does not represent absolute values of risk (probability). The last column of Table D in Supplement File presents the CRE that most influenced the scores for each farm in the study. These differences may be used as a way of prioritizing biosecurity practices among different herds to aid in identifying gaps in biosecurity protocols. The results suggest that events related to swine movements, transmission by air and water, and people movements should be prioritized, reinforcing the important role of these

transmission routes in PRRSv introduction. These results corroborate literature that cited the aforementioned events as the most important risk factors to PRRSv introduction and spread (Alonso et al., 2013; Dee et al., 2004; Ramirez and Zaabel, 2012; Zimmerman et al., 2012).e

Certain limitations to our study exist. The use of a more representative expert panel would increase the legitimacy of the indicator. Although the use of expert's opinion has limitations, the results of this study suggest that a scoring system for assessing the vulnerability of swine herds to the introduction of PRRSV may be useful. In addition, the information collected using a survey may be subject to information bias and didn't consider temporal variations among the biosecurity practices performed or modified after an outbreak. For example, some herds classified as "high" may have improved biosecurity after another PRRS outbreak, resulting in subsequent lower scores.

In conclusion, a tool to consistently evaluate biosecurity practices and its relationship with PRRSv introduction on swine breeding herds was developed. This tool can help producers or decision makers to set priorities for improving and monitoring biosecurity practices over time. The results demonstrated a link between the BVS and the frequency of PRRSv outbreaks and suggest which categories of risk events that may need more attention at a herd level.

Acknowledgments

This study was partially funded by the Swine Health Information Center (SHIC).

Funding

The authors have received funding from Veterinary Diagnostic and Production Animal Medicine (VDPAM-ISU), Zoetis and Swine Health Information Center (SHIC). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing interests

The authors have declared no competing interests.

Supporting Information

Supplemental File (Excel file) – Tab A, Tab B and Tab C.

Supplemental Table A.

References

- Alonso, C., Murtaugh, M.P., Dee, S.A., Davies, P.R., 2013a. Epidemiological study of air filtration systems for preventing PRRSV infection in large sow herds. *Prev. Vet. Med.* 112, 109–117. doi:10.1016/j.prevetmed.2013.06.001
- Alonso, C., Murtaugh, M.P., Dee, S.A., Davies, P.R., 2013b. Epidemiological study of air filtration systems for preventing PRRSV infection in large sow herds. *Prev. Vet. Med.* 112, 109–117. doi:10.1016/j.prevetmed.2013.06.001
- Amass, S.F., 2005. Biosecurity - Stopping the bugs from getting in. *Pig J.* 55, 104–114.
- Amass, S.F., 2004. Review of biosecurity research on mechanical transmission of porcine pathogens by people, in: Allen D. Leman Swine Conference. University of Minnesota, pp. 84–87.
- Belton, V., Stewart, T.J., 2002. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer US. doi:10.1007/978-1-4615-1495-4
- Bottoms, K., Poljak, Z., Dewey, C., Deardon, R., Holtkamp, D., Friendship, R., 2013. Evaluation of external biosecurity practices on southern Ontario sow farms. *Prev. Vet. Med.* 109, 58–68. doi:10.1016/j.prevetmed.2012.08.013
- Canon, A., Gerardy, K., Karriker, L., Holtkamp, D., 2015. *Outbreak Investigation Program – A Systematic Approach to PRRS Outbreak Investigations.*, in: *Proc. 2015 North American PRRS Symposium*. Chicago, IL.
- Cardona, O.D., 2003. The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective : A Necessary Review and Criticism for Effective. *Mapp. vulnerability Disasters, Dev. people* Chapter 3, 37–51. doi:10.4324/9781849771924
- Cox, R., Sanchez, J., Revie, C.W., 2013. Multi-Criteria Decision Analysis Tools for Prioritising Emerging or Re-Emerging Infectious Diseases Associated with Climate Change in Canada. *PLoS One* 8. doi:10.1371/journal.pone.0068338
- Dee, S., Deen, J., Burns, D., Douthit, G., Pijoan, C., 2004. An assessment of sanitation protocols for commercial transport vehicles contaminated with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Can. J. Vet. Res.* 68, 208–214.

- Food and Agriculture Organization, 2010. Good practices for biosecurity in the pig sector - Issues and options in developing and transition countries., FAO Animal Production and Health Paper No. 169. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Organisation for Animal Health/World Bank.
- Hagenaars, T., 2008. Between-farm transmission routes of highly transmissible diseases in livestock: a literature study on the quantitative knowns and unknowns. Cent. Vet. Inst. Wageningen, UR,
- Holtkamp, D., Lin, H., Wang, C., 2011. PADRAP : Production Animal Disease Risk Assessment - Program, in: 2011 AASV Annual Meeting: Evidence-Based Practice: How Do We Get There? AASV - American Association of Swine Veterinarians, Phoenix, Arizona, pp. 521–524.
- Holtkamp, D.J., Kliebenstein, J.B., Neumann, E.J., Zimmerman, J.J., Rotto, H.F., Yoder, T.K., Wang, C., Yeske, P.E., Mowrer, C.L., Haley, C. a., 2013. Assessment of the economic impact of porcine reproductive and respiratory syndrome virus on United States pork producers. *J. Swine Heal. Prod.* 21, 72–84.
- Joerin, F., Cool, G., Rodriguez, M.J., Gignac, M., Bouchard, C., 2010. Using multi-criteria decision analysis to assess the vulnerability of drinking water utilities. *Environ. Monit. Assess.* 166, 313–330. doi:10.1007/s10661-009-1004-8
- Keffaber, K.K., 1989. Reproductive failure of unknown etiology. *Am. Assoc. Swine Pract. Newsl.* 1, 1 (2): 1-10.
- Laanen, M., Beek, J., Ribbens, S., Vangroenweghe, F., Maes, D., Dewulf, J., 2010. Biosecurity on pig herds: development of an on-line scoring system and the results of the first 99 participating herds. *Vlaams Diergeneeskd. Tijdschr.* 79, 302–306.
- Laanen, M., Persoons, D., Ribbens, S., de Jong, E., Callens, B., Strubbe, M., Maes, D., Dewulf, J., 2013. Relationship between biosecurity and production/antimicrobial treatment characteristics in pig herds. *Vet. J.* 198, 508–512. doi:10.1016/j.tvjl.2013.08.029
- Laanen, M., Ribbens, S., Maes, D., 2011. Quantification of biosecurity status in pig herds using an online scoring system. ... *Sustain. Livest.* ... 100.
- Lee, C., 2015. Porcine epidemic diarrhea virus: An emerging and re-emerging epizootic

swine virus. *Viol. J.* 12, 193. doi:10.1186/s12985-015-0421-2

- Morrison, R.B., Goede, D., Tousignant, S., Perez, A., 2015. Current incidence, prevalence and state of control of PRRS virus in North America, in: *International PRRS Congress*. Ghent, Belgium., p. 2015.
- Nathues, H., Alarcon, P., Rushton, J., Jolie, R., Fiebig, K., Jimenez, M., Geurts, V., Nathues, C., 2017. Cost of porcine reproductive and respiratory syndrome virus at individual farm level – An economic disease model. *Prev. Vet. Med.* 142, 16–29. doi:10.1016/j.prevetmed.2017.04.006
- Noordhuizen, J.P.T.M., Frankena, K., 1999. Epidemiology and quality assurance: Applications at farm level. *Prev. Vet. Med.* 39, 93–110. doi:10.1016/S0167-5877(98)00151-2
- Otake, S., Dee, S., Pijoan, C., 2002. Transmission of PRRSV : Recent research reports. *Int. Pigletter* 22, 37; 40-42.
- Perez, A.M., Davies, P.R., Goodell, C.K., Holtkamp, D.J., Mondaca-Fernández, E., Poljak, Z., Tousignant, S.J., Valdes-Donoso, P., Zimmerman, J.J., Morrison, R.B., 2015. Lessons learned and knowledge gaps about the epidemiology and control of porcine reproductive and respiratory syndrome virus in North America. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 246, 1304–1317. doi:10.2460/javma.246.12.1304
- Pileri, E., Mateu, E., 2016. Review on the transmission porcine reproductive and respiratory syndrome virus between pigs and farms and impact on vaccination. *Vet. Res.* 47, 1–13. doi:10.1186/s13567-016-0391-4
- Pinto, C.J., Urcelay, V.S., 2003. Biosecurity practices on intensive pig production systems in Chile. *Prev. Vet. Med.* 59, 139–145. doi:10.1016/S0167-5877(03)00074-6
- Postma, M., Backhans, A., Collineau, L., Loesken, S., Sjolund, M., Belloc, C., Emanuelson, U., Grosse Beilage, E., Stark, K.D.C., Dewulf, J., 2015. The biosecurity status and its associations with production and management characteristics in farrow-to-finish pig herds. *Animal* 1–12. doi:10.1017/S1751731115002487
- Ramirez, A., Zaabel, Z., 2012. *Swine Biological Risk Management*.

- Reeves, D.E., 2006. The Application of Biotechnical and Epidemiologic Tools for Pig Health. *Anim. Biotechnol.* 17, 177–187. doi:10.1080/10495390600962134
- Romagosa, A., 2017. Applied review on evidence-based biosecurity, in: 48th Annual Meeting of the American Association of Swine Veterinarians. pp. 5–11.
- Saaty, T.L., 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Eur. J. Oper. Res.* 48, 9–26. doi:10.1016/0377-2217(90)90057-I
- Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.* 15, 234–281. doi:10.1016/0022-2496(77)90033-5
- SHMP, 2017. Swine Health Monitoring Project - 1/17/2017.
- Steele, K., Carmel, Y., Cross, J., Wilcox, C., 2009. Uses and misuses of multicriteria decision analysis (MCDA) in environmental decision making. *Risk Anal.* 29, 26–33. doi:10.1111/j.1539-6924.2008.01130.x
- Sternberg Lewerin, S., Österberg, J., Alenius, S., Elvander, M., Fellström, C., Tråvén, M., Wallgren, P., Waller, K.P., Jacobson, M., 2015. Risk assessment as a tool for improving external biosecurity at farm level. *BMC Vet. Res.* 11, 171. doi:10.1186/s12917-015-0477-7
- Thokala, P., Devlin, N., Marsh, K., Baltussen, R., Boysen, M., Kalo, Z., Longrenn, T., Mussen, F., Peacock, S., Watkins, J., Ijzerman, M., 2016. Multiple criteria decision analysis for health care decision making - An introduction: Report 1 of the ISPOR MCDA Emerging Good Practices Task Force. *Value Heal.* 11, 1–13. doi:10.1016/j.prevetmed.2015.06.001
- Visschers, V.H.M., Backhans, A., Collineau, L., Iten, D., Loesken, S., Postma, M., Belloc, C., Dewulf, J., Emanuelson, U., Beilage, E. grosse, Siegrist, M., Sjölund, M., Stärk, K.D.C., 2015. Perceptions of antimicrobial usage, antimicrobial resistance and policy measures to reduce antimicrobial usage in convenient samples of Belgian, French, German, Swedish and Swiss pig farmers. *Prev. Vet. Med.* 119, 10–20. doi:10.1016/j.prevetmed.2015.01.018
- Zang, Y.T., Tan, Y.P., Hu, Y.N., Lu, C.H., 2012. Construction of index system for external risk factors of disease on large-scale farm based on the analytic hierarchy process. *Procedia Eng.* 37, 274–280. doi:10.1016/j.proeng.2012.04.239

Zimmerman, J.J., Benfield, D., Dee, S.A., Murtaugh, M.P., Stadejek, T., Stevenson, G.W., Torremorell, M., 2012. Porcine Reproductive And Respiratory Syndrome Virus (Porcine Arterivirus), in: Zimmerman, J.J., Karriker, L.A., Ramirez, A., Schwartz, K.J., Stevenson, G.W. (Eds.), Diseases of Swine. Wiley-Blackwell, pp. 461–486.

Tables

Table 1. Model framework - Categories of risk events, risk events and carrying agents related to PRRSV introduction into a swine breeding herd.

(be continued)

Categories of risk events (CRE _k) (<i>1st level</i>)	Risk events (RE_j) (<i>2nd level</i>)	Carrying agents (CA_j) (<i>3rd level</i>)	
1. Swine movement	I. Semen delivered to premises	Semen; Semen packaging; Vehicle and driver.	
	II. Breeding replacement animals delivered to premises	Replacement animals; Livestock trailer; Driver; Tools.	
	III. Cull breeding animals hauled from premises	Livestock trailer; Driver; Tools.	
	IV. Weaned pigs hauled from premises	Livestock trailer; Driver; Tools.	
	2. Pickup/Deliveries	I. Dead animals removed from premises	Rendering truck; Driver.
		II. Feed or feed ingredients delivered to premises	Feed truck; Driver; Feed; Feed mill on the premises.
		III. Propane and fuel delivered to premises	Vehicle and driver.
IV. Garbage collected from premises		Vehicle and driver.	
V. Electrical meter read on premises		Vehicle and driver.	
VI. New tools and supplies are delivered to premises		Tools and supplies; Vehicle and driver.	
3. People movement	VII. Tools and supplies transferred from other swine premises are delivered to premises	Tools and supplies; Vehicle and driver.	
	I. On-farm employees enter premises	On-farm employees; Equipment; Vehicles.	
	II. Repair, maintenance, electrical and plumbing personnel enter premises	Visitors; Tools supplies and equipment; Vehicles.	
4. Pork/food product entry	III. Veterinarians, off-site production managers, vendors and other visitors enter premises	Visitors; Tools supplies and equipment; Vehicles.	
	I. Entry of pork and other food	Food.	
5. Manure removal	I. Manure removal	Equipment; Visitors; Personnel.	
6. Domestic animals, feral swine, other wild	I. Entry of animals	Animals.	

Table 1. Model framework - Categories of risk events, risk events and carrying agents related to PRRSV introduction into a swine breeding herd.

(be continued)

Categories of risk events (CRE _k) (<i>1st level</i>)	Risk events (RE_j) (<i>2nd level</i>)	Carrying agents (CA_j) (<i>3rd level</i>)
animals and insects	II. Entry of rodents	Rodents.
	III. Entry of insects	Insects
7. Air and water	I. Entry of air	Air.
	II. Entry of water	Water.

Table 2. Example of comparison matrix to establish the relative importance between the factors using a qualitative scale. Example of an expert's judgement of the relative importance between the Categories of risk events (CRE) level. Example of comparison matrix to establish the relative importance between the factors using a qualitative scale. Example of an expert's judgement of the relative importance between the Categories of risk events (CRE) level.

Factors ¹	CRE 1	CRE 2	CRE 3	CRE 4	CRE 5	CRE 6	CRE 7
CRE 1	1						
CRE 2	Very strongly less important (1/7) ²	1					
CRE 3	Moderately less important (1/3)	Strongly more import (5)	1				
CRE 4	Moderately less important (1/3)	Strongly less important (1/5)	Moderately less important (1/3)	1			
CRE 5	Strongly less important (1/5)	Moderately less important (1/3)	Moderately less important (1/3)	Moderately more import (3)	1		
CRE 6	Moderately less important (1/3)	Equally import (1)	Moderately less important (1/3)	Equally import (1)	Equally import (1)	1	
CRE 7	Moderately less important (1/3)	Equally import (1)	Equally import (1)	Moderately more import (3)	Moderately more import (3)	Moderately more import (3)	1

¹ CRE 1 - Swine Movements; CRE 2 - Pickup/ Deliveries; CRE 3 - People movement; CRE 4 - Pork/food product entry; CRE 5 - Manure removal; CRE 6 - Domestic animals, feral swine, other wild animals and insects; CRE 7 - Air and water.

² Qualitative scale used to set the relative importance of the factor on the vertical axis relative to the factor on the horizontal axis: Extremely less important = 1/9; Very strongly less important = 1/7; Strongly less important = 1/5; Moderately less important = 1/3; Equally import = 1; Moderately more import = 3; Strongly more import = 5; Very strongly more import = 7; Extremely more import = 9.

Table 3. Category and risk events related to the bioexclusion practices and the weights obtained from expert opinion.

Categories and risk events for each risk factor	W_CRE_k (weight)	Sd¹	W_RE_j (weight)	Sd¹	Rank²
1. Swine movements	0.33	0.1			
I. Semen delivered to premises			0.27	0.1	2
II. Breeding replacement animals delivered to premises			0.38	0.18	1
III. Cull breeding animals hauled from premises			0.09	0.03	12
IV. Weaned pigs hauled from premises			0.26	0.23	4
2. Pickup/Deliveries	0.26	0.12			
I. Dead animals removed from premises			0.42	0.09	5
II. Feed or feed ingredients delivered to premises			0.17	0.06	10
III. Propane and fuel delivered to premises			0.05	0.01	18
IV. Garbage collected from premises			0.04	0	19
VI. Electrical meter read on premises			0.04	0.01	21
VII. New tools and supplies are delivered to premises			0.11	0.01	13
VIII. Tools and supplies transferred from other swine premises are delivered to premises			0.28	0.06	7
3. People movement	0.15	0.04			
I. On-farm employees enter premises			0.18	0.07	14
II. Repair, maintenance, electrical and plumbing personnel enter premises			0.32	0.26	9
III. Veterinarians, off-site production managers, vendors and other visitors enter premises			0.5	0.26	6
4. Pork/food product entry	0.03	0.01			11
5. Manure removal	0.07	0.03			8
6. Wild animals, domestic animals and insects	0.05	0.01			
I. Wild animals			0.47	0.15	15
II. Domestic animals			0.34	0.08	17
III. Insects			0.19	0.12	20
7. Air and water	0.11	0.04			
I. Entry of air			0.81	0.07	3
II. Entry of water			0.19	0.07	16

¹Sd – Standard deviation.

²Rank = order of importance, given by the multiplication of the risk events (W_RE) and its category weight (W_CRE).

Table 4. Carrying agents related to the risk events and the weights obtained from expert opinion.

(be continued)		
Carrying agents related to the risk events	W_CA _i (weight)	Sd ¹
1. I. Semen delivered to premises		
a. Semen	0.63	0.00
b. Semen packaging	0.11	0.00
c. Vehicle and driver	0.26	0.00
II. Breeding replacement animals delivered to premises		
a. Replacement animals	0.59	0.05
b. Livestock trailer	0.24	0.03
c. Driver	0.09	0.04
d. Tools	0.08	0.02
III. Cull breeding animals hauled from premises		
a. Livestock trailer	0.62	0.12
b. Driver	0.24	0.16
c. Tools	0.14	0.05
IV. Weaned pigs hauled from premises		
a. Livestock trailer	0.62	0.12
b. Driver	0.24	0.16
c. Tools	0.14	0.05
2. I. Dead animals removed from premises		
a. Rendering truck	0.72	0.16
b. Driver	0.28	0.16
II. Feed or feed ingredients delivered to premises		
a. Feed truck	0.08	0.01
b. Feed truck and driver	0.1	0.01
c. Feed	0.34	0.13
d. Multiple - feed mill on the premises	0.48	0.13
VII. New tools and supplies are delivered to premises		
a. Tools and supplies	0.12	0.00
b. Vehicle and driver	0.88	0.00
VIII. Tools and supplies transf. from other swine premises are deliv. to premises		
a. Tools and supplies	0.12	0.00
b. Vehicle and driver	0.88	0.00
3. I. On-farm employees enter premises		
a. On-farm employees	0.57	0.12
b. Equipment	0.16	0.08
c. Vehicles	0.27	0.16
II. Repair, maintenance, electrical and plumbing personnel		

Table 4. Carrying agents related to the risk events and the weights obtained from expert opinion.

(be continued)		
Carrying agents related to the risk events	W_CA_i (weight)	Sd¹
enter premises		
a. Visitors	0.56	0.11
b. Tools supplies and equipment	0.20	0.06
c. Vehicles	0.24	0.17
III. Veterinarians, off-site production managers, vendors and other visitors enter premises		
a. Visitors	0.56	0.11
b. Tools supplies and equipment	0.20	0.06
c. Vehicles	0.24	0.17
5. I. Manure removal		
a. Equipment	0.43	0.00
b. Visitors	0.43	0.00
c. Personnel	0.14	0.00

¹Sd – Standard deviation.

Table 5. Statistical results for comparison of BVS between the PRRS outbreaks categories.

Number of PRRS outbreaks	N	Score ¹	Sd ²	Min. ³	Max. ³
<i>All herds</i>	41	0.43	0.09	0.15	0.62
0	4	0.29 ^b	0.09	0.15	0.36
1	3	0.40 ^{ab}	0.06	0.35	0.46
2	17	0.43 ^a	0.08	0.31	0.61
3	9	0.45 ^a	0.05	0.36	0.52
4	8	0.46 ^a	0.08	0.33	0.62

¹Comparison between groups: different letters mean difference between groups at 0.05 significance level using *Tukey* post hoc test.

²Sd – Standard deviation.

³Min. – Minimum value; Max – Maximum value.

Table 6. Statistical results between case and control groups in the frequency of PRRS outbreaks in the last 3 years.

Group	Nº of herds	PRRS outbreaks ¹	Min. ²	Median	Max. ²	% of naïve herds
Low	42	0.2 ^a	0	0	1	81.0%
High	42	3.0 ^b	2	3	6	0%

¹Comparison between groups: different letters mean difference between groups at 0.05 significance level using *t test*.

²Min. – Minimum value; Max – Maximum value.

Table 7. Statistical results between case and control groups in the herd vulnerability scores.

Group	Model estimates		Score distribution ³				
	Mean ¹	SE ²	Min.	Q1	Median	Q3	Max.
Low	0.30 ^a	0.01	0.12	0.26	0.29	0.37	0.46
High	0.35 ^b	0.01	0.20	0.30	0.36	0.40	0.52

¹ Comparison between groups: different letters mean difference between groups at 0.05 significance level using *Tukey* post hoc test.

²SE – Standard error.

³Min. – Minimum value; Q1 – Lower quartile; Q3 – Upper quartile; Max – Maximum value.

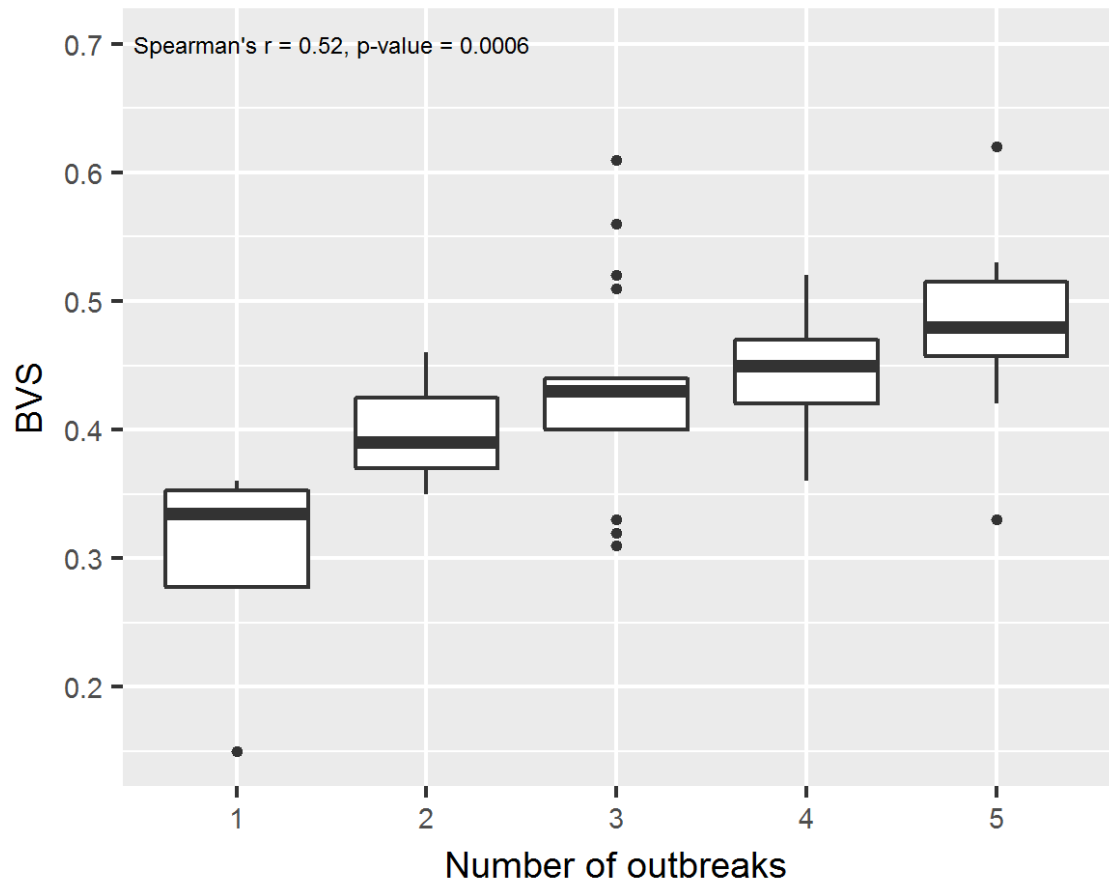
Figure

Figure 1. Biosecurity vulnerability score (BVS) and the difference between categories based on the number of PRRS outbreak in the past 5 years.

4.3.1. Supplementary Material

Supplemental File (Excel file)

Tab A – List of scientific articles and manuals used identify and classify the categories of risk events, risk events and carrying agents related to PRRSV introduction into a swine breeding herds.

Tab B – Survey used to evaluate biosecurity practices and their classification according to category of risk event, risk event and carrying agent.

Tab C – Values of the BVS and CRE scores of the farms assessed in the case-control study. Each score (BVS and CRE scores) was ranked to identify the most vulnerable farms. Also, the CRE that most influences the value of the BVS was identified in the last column of the table.

Supplemental Table

Table A – AHP weight calculation matrix. An example of the matrix operations performed to obtain the weights from the comparisons using a qualitative scale is described. The process follows 3 steps. Step 1: The sum of each column values is performed (*ColSum*). Step 2: A standardized matrix is obtained by standardizing each importance value by it respective *ColSum* (step 1) and then the sum of the values by factor line is performed. Step 3: The weight of each factor is the relative frequency of each factor (Step 2) over the total.

Supplemental Table

Table A. AHP weight calculation matrix. An example of the matrix operations performed to obtain the weights from the comparisons using a qualitative scale is described. The process follows 3 steps. Step 1: The sum of each column values is performed (ColSum). Step 2: A standardized matrix is obtained by standardizing each importance value by its respective ColSum (step 1) and then the sum of the values by factor line is performed. Step 3: The weight of each factor is the relative frequency of each factor (Step 2) over the total.

Step 1: Sum of each column (*ColSum*).

Factor ¹	CRE1	CRE2	CRE3	CRE4	CRE5	CRE6	CRE7
CRE1	1.00 ²	7.00	3.00	7.00	5.00	3.00	3.00
CRE2	0.14	1.00	0.20	5.00	3.00	1.00	1.00
CRE3	0.33	5.00	1.00	3.00	3.00	3.00	1.00
CRE4	0.14	0.20	0.33	1.00	0.33	1.00	0.33
CRE5	0.20	0.33	0.33	3.00	1.00	1.00	0.33
CRE6	0.33	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33
CRE7	0.33	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	1.00
ColSum	2.49	15.53	6.20	23.00	16.33	13.00	7.00

Step 2: Matrix standardization.

Step 3: Weight.

Factor ¹	CRE1	CRE2	CRE3	CRE4	CRE5	CRE6	CRE7	Total	Weight
CRE1	0.40	0.45	0.48	0.30	0.31	0.23	0.43	2.61	0.37
CRE2	0.06	0.06	0.03	0.22	0.18	0.08	0.14	0.77	0.11
CRE3	0.13	0.32	0.16	0.13	0.18	0.23	0.14	1.31	0.19
CRE4	0.06	0.01	0.05	0.04	0.02	0.08	0.05	0.31	0.04
CRE5	0.08	0.02	0.05	0.13	0.06	0.08	0.05	0.47	0.07
CRE6	0.13	0.06	0.05	0.04	0.06	0.08	0.05	0.48	0.07
CRE7	0.13	0.06	0.16	0.13	0.18	0.23	0.14	1.05	0.15
ColSum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.00	1.00

¹CRE 1 - Swine Movements; CRE 2 - Pickup/ Deliveries; CRE 3 - People movement; CRE 4 - Pork/food product entry; CRE 5 - Manure handle; CRE 6 - Domestic animals, feral swine, other wild animals and insects; CRE 7 - Air and water.

²Qualitative scale used to set the relative importance of the factor on the vertical axis relative to the factor on the horizontal axis: Extremely less important = 1/9; Very strongly less important = 1/7; Strongly less important = 1/5; Moderately less important = 1/3; Equally import = 1; Moderately more import = 3; Strongly more import = 5; Very strongly more import = 7; Extremely more import = 9.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intensificação da produção na cadeia de suínos trouxe vários benefícios e, dentre os principais, possibilitou maior controle do processo produtivo, maior produtividade dos rebanhos e subprodutos e maior segurança alimentar para o consumidor. A partir da intensificação, novos desafios de ordem sanitária surgiram nos rebanhos e as práticas de biossegurança se tornaram primordiais e essenciais para a sustentabilidade das explorações tecnificadas.

A princípio, a principal função da adoção de práticas de biossegurança estava relacionada às estratégias de prevenção, controle e erradicação de patógenos específicos nas propriedades visando uma maior produtividade, diminuição do uso de antimicrobianos e alcance de *status* sanitário superior Amass (2006 e Ribbens et al. (2008). Porém, atualmente, a biossegurança assume também importância comercial, visto que ela pode servir como certificação sanitária e auxilia na manutenção de *status* livre para algumas doenças importante sob ponto de vista econômico Scott et al. (2005). Isso pode aumentar a competitividade dos sistemas de produção tanto no mercado interno, pela maior eficiência produtiva com menores custos de produção, quanto no mercado internacional, pelo reconhecimento de áreas livres de circulação de patógenos.

A avaliação das práticas de biossegurança nas unidades de produção de suínos é importante para verificar o quão bem os protocolos recomendados estão sendo implementados, além de identificar pontos críticos onde melhorias poderiam ser feitas. As informações sobre práticas de biossegurança podem ser incorporadas em atividades de vigilância baseadas em risco usando uma variedade de abordagens diferentes. Uma das maneiras como isso pode ser alcançado seria a identificação de propriedades ou sistemas de produção que podem estar mais vulneráveis à introdução e disseminação de patógenos tanto endêmicos quanto exóticos.

Desta forma, o principal objetivo do trabalho foi avaliar as práticas de biossegurança em granjas produtoras de suínos e realizar um diagnóstico macro das práticas de biossegurança realizadas nas granjas do Estado do Rio Grande de Sul, que na qualidade de segundo maior exportador de carne do país, necessita de maiores informações a respeito da cadeia produtiva e as informações aqui descritas podem auxiliar tanto as ações do serviço veterinário oficial quanto as da iniciativa privada.

Para avaliação dos protocolos e práticas de biossegurança não existe um método único e melhor, mas sim um método que se adapte aos objetivos que avaliem da

melhor forma o problema proposto. A partir disso, optou-se por três abordagens distintas, sendo que a primeira teve como objetivo avaliar a frequência das práticas de forma exploratória sem a presença de um patógeno específico, a fim de identificar as práticas realizadas entre as finalidades de produção. Posteriormente, foi criado um índice de biossegurança a partir das informações oriundas da parte 1 para classificação das granjas baseadas nas práticas realizadas. Além disso, foi avaliada associações entre o nível de biossegurança e diversas características das propriedades, com o objetivo de entender a complexidade e os fatores que influenciam a realização das práticas. Por fim, o trabalho realizado na ISU teve como objetivo avaliar os protocolos de biossegurança em granjas produtoras de leitões a partir de um patógeno específico (PRRSV) e através de um método de múltiplos critérios (MCDA) foram identificadas as vulnerabilidades que facilitarão a introdução do patógeno.

Na primeira parte, através da análise exploratória realizada, o estudo identificou uma tendência na realização das práticas relacionadas aos procedimentos de manejo (biossegurança interna) em comparação com as demais categorias. Esses resultados diferem de outros estudos onde as práticas relacionadas à biossegurança externa (segregação e estrutura física, e procedimentos de limpeza e desinfecção) frequentemente tem maior preferência, visto que servem de barreira inicial frente à introdução de patógenos Laanen et al. (2013 e Postma et al. (2016). Em relação à análise por finalidade de produção, as GRSC são as que mais realizam as práticas avaliadas. As finalidades UPL, UC e UT apresentaram uma adoção moderada das práticas de biossegurança e as Granjas Ciclo Completo possui uma baixa adoção nas práticas avaliadas. Entretanto é complicado estabelecer um grau de vulnerabilidade das propriedades baseado somente na adoção de práticas sem definir um patógeno específico, já que podem existir características de transmissão intrínsecas de cada patógeno em que a definição de vulnerabilidade estaria ligada a essas particularidades.

Para quantificar a biossegurança, principal objetivo da segunda parte, a Teoria da Resposta ao Item foi o método escolhido e um escore foi criado com o objetivo de classificar as propriedades. O escore de biossegurança criado, em comparação com outros métodos Holtkamp et al. (2011 e Laanen et al. (2010), tem um número reduzido de variáveis, o que torna a aplicação mais fácil e rápida. As variáveis com maior capacidade de discriminar as granjas em relação ao seu nível de biossegurança foram: presença de cerca ao redor da granja ou galpão; presença de silo de ração nos limites da cerca que possibilite carregamento sem que o caminhão adentre

a área interna; e presença de banheiro/vestiário no limite da granja. Além disso, conforme já havia sido descrito em outros estudos Dorea et al. (2010 e Postma et al. (2015 e Racicot et al. (2012 e Ramirez; Zaabel (2012), foi possível concluir que o nível de biosseguridade sofre influência da finalidade de produção da propriedade, da empresa ou agroindústria a qual possui relação comercial, do tamanho do rebanho e do nível educacional do proprietário.

Para cumprir os objetivos propostos na terceira parte, a avaliação dos protocolos de biosseguridade em granjas suínas foi realizada para um patógeno específico. O uso do método MCDA demonstrou ser útil para avaliar de forma sistemática as práticas de biosseguridade e os eventos de risco associados a introdução de PRRSV, visto que os protocolos podem ser avaliados com base nas formas de transmissão do patógeno se tornando, assim, menos subjetivos. Os cinco eventos mais importantes, conforme julgados pelos especialistas, foram: introdução de animais de reposição; entrega de sêmen; transmissão do agente via ar; transporte de animais desmamados e remoção de animais mortos. Uma associação entre o escore de vulnerabilidade e a frequência de surtos da doença foi constatada e, além disso, através do ranqueamento das categorias de eventos de risco o método sugeriu quais seriam as mais vulneráveis à introdução do agente. Esta ferramenta pode ajudar os produtores ou tomadores de decisão a estabelecer prioridades para melhorar e monitorar as práticas de biosseguridade realizadas ao longo do tempo.

Enfim, avaliar a biosseguridade é um processo complexo e, além de envolver a coleta de informações nas propriedades e identificar quais variáveis são mais importantes para classificação das propriedades, é preciso levar em consideração a estrutura do sistema de produção de suínos e quais características da propriedade influenciam na adoção das práticas. Os resultados aqui apresentados incorporaram essas relações complexas e mostraram ser possível a avaliação deste importante componente da cadeia de produção de suínos.

Projetos futuros poderão ser realizados para melhorar os trabalhos iniciais e responder aos novos questionamentos, principalmente os relacionados à influência dos níveis de biosseguridade em índices produtivos e sanitários, bem como o custo-benefício das práticas de biosseguridade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA. **2017 Annual Report - Brazilian Association of Animal Protein (ABPA)**. 2017.

AGROSTAT, A.; MAPA, M. DA A. P. E A. Estatística de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 5/2/2018.

AMASS, S. F. Biosecurity - Stopping the bugs from getting in. **The Pig Journal**, v. 55, p. 104–114, 2005. Disponível em: <<http://www.thepigsite.com/pigjournal/view/147/biosecurity-stopping-the-bugs-from-getting-in/>>. .

AMASS, S. F. Biosecurity Practical Applications. , 2006. Pork information gateway. Disponível em: <<http://porkgateway.org/resource/biosecurity-practical-applications/>>. .

AMASS, S. F.; CLARK, L. K. Biosecurity considerations for pork production units. **Swine Health Prod**, v. 7, n. 5, p. 217–228, 1999.

ANDRADE, D. F. DE; TAVARES, H. R.; VALLE, R. DA C. **Teoria da Resposta ao Item: conceitos e aplicações**. São Paulo, 2000.

ARSEVSKA, E.; HELLAL, J.; MEJRI, S.; et al. Identifying Areas Suitable for the Occurrence of Rift Valley Fever in North Africa: Implications for Surveillance. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 63, n. 6, p. 658–674, 2016. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/tbed.12331>>. Acesso em: 12/2/2018.

BACKHANS, A.; SJOLUND, M.; LINDBERG, A.; EMANUELSON, U. Biosecurity level and health management practices in 60 Swedish farrow-to-finish herds. **Acta Veterinaria Scandinavica**, v. 57, n. 1, p. 14, 2015. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84935923071&partnerID=tZOtx3y1>>. .

BARCELLOS, D. E. S. N.; MORES, T. J.; SANTI, M.; GHELLER, N. B. Avanços em programas de biosseguridade para a suinocultura Advances in biosecurity programs in pig production. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 36, n. Supl 1, p. 33–46, 2008.

BARCELÓ, J.; MARCO, E. On farm biosecurity. Proceedings of the 15th Meeting IPVS, Birmingham, UK. **Anais**. p.129–133., 1998.

BELTON, V.; STEWAR, T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis**. Springer US., 2002.

BOKLUND, A.; ALBAN, L.; MORTENSEN, S.; HOUE, H. Biosecurity in 116 Danish fattening swineherds: Descriptive results and factor analysis. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 66, n. 1–4, p. 49–62, 2004.

BOTTOMS, K.; POLJAK, Z.; DEWEY, C.; et al. Evaluation of external biosecurity practices on southern Ontario sow farms. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 109, n. 1–2, p. 58–68, 2013.

BOTTOMS, K.; POLJAK, Z.; FRIENDSHIP, R.; et al. An assessment of external biosecurity on Southern Ontario swine farms and its application to surveillance on a geographic level. **Canadian Journal of Veterinary Research**, v. 77, n. 4, p. 241–253, 2013.

BRAUN, M. B. S.; SANTOS, F. R.; FIGUEIREDO, A. M.; CARDOSO, R. D. Impacto das barreiras sanitárias e fitossanitárias na competitividade das exportações brasileiras e paranaenses de carne bovina. Anais da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. XLVI Congresso da SOBER. **Anais.**, 2008.

BROOKES, V. J.; HERNÁNDEZ-JOVER, M.; COWLED, B.; HOLYOAKE, P. K.; WARD, M. P. Building a picture: Prioritisation of exotic diseases for the pig industry in Australia using multi-criteria decision analysis. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 113, n. 1, p. 103–117, 2014.

CANON, A.; GERARDY, K.; KARRIKER, L.; HOLTKAMP, D. Outbreak Investigation Program – A Systematic Approach to PRRS Outbreak Investigations. Proc. 2015 North American PRRS Symposium. **Anais...**, 2015. Chicago, IL.

CASAL, J.; DE MANUEL, A.; MATEU, E.; MARTÍN, M. Biosecurity measures on swine farms in Spain: Perceptions by farmers and their relationship to current on-farm measures. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 82, n. 1–2, p. 138–150, 2007.

CNA. Agropecuária supera obstáculos e segue liderando a economia brasileira em 2016. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br/noticias/agropecuaria-supera-obstaculos-e-segue-liderando-economia-brasileira-em-2016>>. Acesso em: 1/1/2018.

COSTARD, S.; PORPHYRE, V.; MESSAD, S.; et al. Multivariate analysis of management and biosecurity practices in smallholder pig farms in Madagascar.

Preventive Veterinary Medicine, v. 92, n. 3, p. 199–209, 2009.

COX, R.; SANCHEZ, J.; REVIE, C. W. Multi-Criteria Decision Analysis Tools for Prioritising Emerging or Re-Emerging Infectious Diseases Associated with Climate Change in Canada. **PLoS ONE**, v. 8, n. 8, 2013.

CSHB. National Swine Farm-Level Biosecurity Standard. **Canadian Swine Health Board**, 2010. Canadian Swine Health Board - Technical Committee on Biosecurity.

DEAN, R. S. The use and abuse of questionnaires in veterinary medicine. **Equine Veterinary Journal**, v. 47, n. 4, p. 379–380, 2015.

DEWEY, C. E.; STRAW, B. E. Herd evaluation. In: B. E. Straw; J. J. Zimmerman; S. D’Allaire; D. J. Taylor (Orgs.); **Diseases of Swine**. 9th ed. ed., p.5–17, 2006. Ames, IA.: Blackwell Publishing.

DOREA, F. C.; BERGHAUS, R.; HOFACRE, C.; COLE, D. J. Survey of Biosecurity Protocols and Practices Adopted by Growers on Commercial Poultry Farms in Georgia, U. S. A. **Avian Diseases**, v. 54, n. 3, p. 1007–1015, 2010. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/abs/10.1637/9233-011210-Reg.1>>.

EAST, I. J.; WICKS, R. M.; MARTIN, P. A. J.; et al. Use of a multi-criteria analysis framework to inform the design of risk based general surveillance systems for animal disease in Australia. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 112, n. 3, p. 230–247, 2013.

EMBRETSON, S. E.; REISE, S. P. **Item Response Theory for Psychologists**. Mahwah, New Jersey: Psychology Press, 2000.

FIRESTONE, S. M.; LEWIS, F. I.; SCHEMANN, K.; et al. Applying Bayesian network modelling to understand the links between on-farm biosecurity practice during the 2007 equine influenza outbreak and horse managers’ perceptions of a subsequent outbreak. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 116, n. 3, p. 243–251, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Good practices for biosecurity in the pig sector - Issues and options in developing and transition countries**. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Organisation for Animal Health/World Bank., 2010.

GEIGER, J. O. Biosecurity: The protocols in place are appropriate. Allen D. Leman Swine Conference. **Anais**. p.46–47, 2001. Minneapolis, MN.: University of Minnesota.

GRIMES, T.; JACKSON, C. **CODE OF PRACTICE FOR BIOSECURITY IN THE EGG INDUSTRY**. Canberra, Australia., 2001.

HEIN, H. E.; COSTA, E. DE F.; MACHADO, G.; MARTINEZ, B. A.; MEDEIROS, A. A. DE. Notificações de doenças de suínos recebidas pelo Serviço Veterinário Oficial do Rio Grande do Sul nos anos de 2011 e 2012. **A Hora Veterinária**, v. 134, p. 22, 2013.

HOLTKAMP, D.; LIN, H.; WANG, C. PADRAP : Production Animal Disease Risk Assessment - Program. 2011 AASV Annual Meeting: Evidence-based practice: How do we get there? **Anais**. p.521–524, 2011. Phoenix, Arizona: AASV - American Association of Swine Veterinarians. Disponível em: <<https://www.aasv.org/library/swineinfo/Content/AASV/2011/521.pdf>>. .

JONES, K. E.; PATEL, N. G.; LEVY, M. A.; et al. Global trends in emerging infectious diseases. **Nature**, v. 451, n. 7181, p. 990–993, 2008. Nature Publishing Group. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/nature06536>>. Acesso em: 5/2/2018.

LAANEN, M.; BEEK, J.; RIBBENS, S.; et al. Biosecurity on pig herds: development of an on-line scoring system and the results of the first 99 participating herds. **Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift**, v. 79, n. 4, p. 302–306, 2010. Disponível em: <<http://www.cabdirect.org/abstracts/20103255657.html>>.

LAANEN, M.; PERSOONS, D.; RIBBENS, S.; et al. Relationship between biosecurity and production/antimicrobial treatment characteristics in pig herds. **Veterinary Journal**, v. 198, n. 2, p. 508–512, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.08.029>>. Acesso em: 17/4/2017.

LAANEN, M.; RIBBENS, S.; MAES, D. Quantification of biosecurity status in pig herds using an online scoring system. **Sustainable Livestock**, v. 100, 2011. Disponível em: <<http://www.cabdirect.org/abstracts/20113295864.html>>.

VAN DER LINDEN, W. J. Item response theory. **International Encyclopedia of Education**, v. 4, p. 81–88, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, M. **Instrução normativa nº 21**. 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, M. **Instrução normativa nº 44**. 2017.

MOORE, D. A.; MERRYMAN, M. L.; HARTMAN, M. L.; KLINGBORG, D. J.

Comparison of published recommendations regarding biosecurity practices for various production animal species and classes. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 233, n. 2, p. 249–256, 2008. United States.

NOORDHUIZEN, J. P. T. M.; FRANKENA, K. Epidemiology and quality assurance: Applications at farm level. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 39, n. 2, p. 93–110, 1999.

OIE. Chapter 4.3 - Zoning and compartmentalisation. **Terrestrial Animal Health Code** **OID**. p.1–5, 2017. Disponível em: <http://www.oie.int/eng/normes/mcode/en_chapitre_1.4.3.pdf>. .

OTTE, J.; ROLAND-HOLST, D.; PFEIFFER, D.; et al. **Industrial Livestock Production and Global Health Risks**. 2007.

PINTO, C. J.; URCELAY, V. S. Biosecurity practices on intensive pig production systems in Chile. **Preventive Veterinary Medicine**, 2003.

POSTMA, M.; BACKHANS, A.; COLLINEAU, L.; et al. The biosecurity status and its associations with production and management characteristics in farrow-to-finish pig herds. **Animal: an international journal of animal bioscience**, p. 1–12, 2015. Disponível em: <http://journals.cambridge.org/abstract_S1751731115002487>. .

POSTMA, M.; BACKHANS, A.; COLLINEAU, L.; et al. Evaluation of the relationship between the biosecurity status, production parameters, herd characteristics and antimicrobial usage in farrow-to-finish pig production in four EU countries. **Porcine Health Management**, v. 2, n. 1, p. 9, 2016. Porcine Health Management. Disponível em: <<http://www.porcinehealthmanagement.com/content/2/1/9%5Cnhttp://porcinehealthmanagement.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40813-016-0028-z>>.

POSTMA, M.; VANDERHAEGHEN, W.; SARRAZIN, S.; MAES, D.; DEWULF, J. Reducing Antimicrobial Usage in Pig Production without Jeopardizing Production Parameters. **Zoonoses and Public Health**, v. 64, n. 1, p. 63–74, 2017.

RACICOT, M.; VENNE, D.; DURIVAGE, A.; VAILLANCOURT, J.-P. Evaluation of the relationship between personality traits, experience, education and biosecurity compliance on poultry farms in Québec, Canada. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 103, n. 2, p. 201–207, 2012.

RAMIREZ, A.; ZAABEL, Z. Swine Biological Risk Management. , 2012. Ames, IA: Center for Food Security and Public Health. Disponível em: <papers2://publication/uuid/448CF6C9-51D6-4B51-81F1-CA3E4AE0B204>. .

RELUN, A.; CHARRIER, F.; TRABUCCO, B.; et al. Multivariate analysis of traditional pig management practices and their potential impact on the spread of infectious diseases in Corsica. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 121, n. 3–4, p. 246–256, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.07.004>>. Acesso em: 17/4/2017.

RIBBENS, S.; DEWULF, J.; KOENEN, F.; et al. A survey on biosecurity and management practices in Belgian pig herds. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 83, n. 3–4, p. 228–241, 2008.

ROJO-GIMENO, C.; POSTMA, M.; DEWULF, J.; et al. Farm-economic analysis of reducing antimicrobial use whilst adopting improved management strategies on farrow-to-finish pig farms. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 129, p. 74–87, 2016.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.

SANTINI, G. A.; SOUZA FILHO, H. M. Mudanças tecnológicas em cadeias agroindustriais: uma análise dos elos de processamento da pecuária de corte, avicultura de corte e suinocultura. Anais do 42º Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia rural. **Anais**. 2004. Cuiabá.

SANTOS, D. V. DOS. **Avaliação de Riscos: Emprego da técnica pelo serviço veterinário oficial e identificação de áreas de risco para a febre aftosa no rio grande do sul.**, 2016. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, D. V. DOS; SOUSA E SILVA, G.; WEBER, E. J.; et al. Identification of foot and mouth disease risk areas using a multi-criteria analysis approach. **Plos One**, v. 12, n. 5, p. e0178464, 2017.

SCOTT, A.; SEIN, C. Z.; GARBER, L.; et al. **Compartmentalisation - Concept paper**. OIE. 2005.

SECURE PORK SUPPLY. Information Manual For Enhanced Biosecurity: Animals Raised Indoors. n. January, 2017. Disponível em: <http://www.securepork.org/Resources/SPS_Biosecurity_Information_Manual_12Jan2

017_final.pdf>.

SOBESTIANSKY, J. **Sistema Intensivo de Produção de Suínos: Programa de Biossegurança**. Goiânia - Goiás., 2002.

SOUZA, J. C. P. V. B.; AMARAL, A. L. DO; MORÉS, N.; et al. **Sistema de Produção de Leitões baseado em Planejamento, Gestão e Padrões Operacionais**. Concórdia/SC - Brasil., 2013.

VAN STEENWINKEL, S.; RIBBENS, S.; DUCHEYNE, E.; GOOSSENS, E.; DEWULF, J. Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 98, n. 4, p. 259–270, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.12.004>>. Acesso em: 17/4/2017.

VAILLANCOURT, J. P.; STRINGHAM, M. **Poultry disease risk management: practical biosecurity resources**. Tucker, Georgia, USA., 2003.

ZANG, Y. T.; TAN, Y. P.; HU, Y. N.; LU, C. H. Construction of index system for external risk factors of disease on large-scale farm based on the analytic hierarchy process. **Procedia Engineering**, v. 37, n. Cems, p. 274–280, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.239>>.

ZHANG, Y. HUA; LI, C. S.; LIU, C. C.; CHEN, K. Z. Prevention of losses for hog farmers in China: Insurance, on-farm biosecurity practices, and vaccination. **Research in Veterinary Science**, v. 95, n. 2, p. 819–824, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.06.002>>.

APÊNDICE A. Caracterização da população alvo em relação às empresas participantes e finalidade de produção.

Agroindústria [‡]	Finalidade de produção					Total
	1 - GRSC [§]	2 - UPL	3 - UC	4 - UT	5 - Ciclo Completo [§]	
Número de granjas	41 (1,0%)	381 (9,7%)	269 (6,8%)	3235 (82,0%)	17 (0,4%)	3943 (100,0%)
A1	4 (9,8%)	39 (10,2%)	18 (6,7%)	663 (20,5%)	1 (5,9%)	725 (18,4%)
A2	2 (4,9%)	99 (26,0%)	19 (7,1%)	314 (9,7%)	1 (5,9%)	435 (11,0%)
A3	8 (19,5%)	47 (12,3%)	5 (1,9%)	665 (20,6%)	-	725 (18,4%)
A4	-	1 (0,3%)	-	59 (1,8%)	-	60 (1,5%)
A5	12 (29,3%)	23 (6,0%)	93 (34,6%)	394 (12,2%)	1 (5,9%)	523 (13,3%)
A6	-	28 (7,3%)	15 (5,6%)	107 (3,3%)	-	150 (3,8%)
A7	9 (22,0%)	51 (13,4%)	39 (14,6%)	649 (20,1%)	-	748 (19,0%)
A8	4 (9,8%)	28 (7,3%)	67 (24,9%)	222 (6,9%)	-	321 (8,1%)
A9	-	62 (16,3%)	7 (2,6%)	135 (4,2%)	14 (82,4%)	218 (5,5%)
A10	2 (4,9%)	3 (0,8%)	6 (2,2%)	27 (0,8%)	-	38 (1,0%)

[‡]Proporção é descrita por finalidade de produção.

[§]Censo foi conduzido nas propriedades destas categorias.

APÊNDICE B. Práticas de biossegurança avaliadas e a caracterização de cada uma quanto a classificação, tipo de transmissão e veículo de transmissão de agentes patogênicos.

(continua)

Classificação e prática de biossegurança		Tipo de transmissão	Veículo de transmissão
Segregação e estrutura física das propriedades			
1	Vizinhos NÃO possuem/criam suínos	Indireta	Ar e homem
2	Propriedade possui placa entrada proibida	Indireta	Homem
3	Granja possui acesso único (entrada única)	Indireta	Homem
4	Presença de cinturão verde	Indireta	Ar
5	Presença e utilização de arco de desinfecção para veículos	Indireta	Animais e pessoas
6	Presença de cerca ao redor da granja ou do galpão	Indireta	Pássaros e outros animais
7	Presença de tela anti-pássaros nos galpões	Indireta	Veículos
8	Presença de silo de ração nos limites da cerca que possibilite carregamento sem que o caminhão adentre a área interna	Indireta	Homem
9	Protocolo de orientação para entrada de visitantes	Indireta	Homem
10	Frequência da entrada de visitantes (raramente)	Indireta	Homem
11	Necessidade de banho para visitantes	Indireta	Homem
12	Presença de banheiro no limite da granja	Indireta	Sujeira / matéria orgânica
13	Separação entre área suja e limpa (<i>Danish system</i>)	Indireta	Veículos
14	Presença de estacionamento para visitantes	Indireta	Veículos
15	Trânsito de veículos no interior da granja é proibido	Indireta	Veículos
16	É proibida a entrada de caminhões já transportando suínos	Direta / Indireta	Suínos e Caminhões
17	Caminhões são dedicados a cada finalidade de produção	Direta / Indireta	Suínos e Caminhões
18	Motorista NÃO tem acesso ao interior da granja	Indireta	Homem

APÊNDICE B. Práticas de biosseguridade avaliadas e a caracterização de cada uma quanto a classificação, tipo de transmissão e veículo de transmissão de agentes patogênicos.

(continua)

Classificação e prática de biosseguridade	Tipo de transmissão	Veículo de transmissão
Procedimentos de limpeza e desinfecção		
19 Presença e uso de local específico para desinfecção dos materiais que serão introduzidos e utilizados na propriedade (ex. fumigador)	Indireta	Materiais
20 Uso de roupas específicas para visitantes	Indireta	Roupas
21 Uso de roupas específicas para funcionários	Indireta	Roupas
22 Frequência de lavagem e desinfecção de caminhões antes de entrar na propriedade (sempre)	Indireta	Veículos
23 Realiza cloração da água	Indireta	Água
24 Realiza análises físico-químicas da água dos animais	Indireta	Água
25 Frequência de desinfecção de materiais que serão introduzidos e utilizados na propriedade (entrada da granja) (sempre)	Indireta	Materiais
Práticas de manejo		
26 Não é cooperado de outra espécie animal na propriedade	Indireta	Contato homem-animal
27 Funcionário(s) que trabalha(m) diretamente com os suínos NÃO tem contato com outros animais de produção (aves, bovinos e ovinos)	Indireta	Homem
28 Realiza reposição de animais de reprodução (material genético) ou crescimento de lotes de creche e terminação de animais oriundos de origem única (granja)	Direta	Animais
29 Realiza vazio sanitário entre lotes	Direta / Indireta	Animais / matéria orgânica
30 Utiliza equipamento exclusivo para cada galpão	Indireta	Fômites
31 Utiliza baia hospital para separação de animais doentes	Direta	Animal
32 Realiza controle de roedores	Indireta	Roedores
33 Realiza controle de moscas	Indireta	Moscas / insetos

APÊNDICE B. Práticas de biossegurança avaliadas e a caracterização de cada uma quanto a classificação, tipo de transmissão e veículo de transmissão de agentes patogênicos.

(continua)

Classificação e prática de biossegurança	Tipo de transmissão	Veículo de transmissão
34 Realiza treinamentos periódicos com os funcionários sobre as práticas sanitárias e de manejo adequadas	Direta / Indireta	Processos da granja
35 Utiliza luva descartável para manipulação de animais mortos	Indireta	Animais mortos

