

Suinocultura: uma saúde e um bem-estar



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CAPÍTULO 20 - EUTANÁSIA EM GRANJAS DE SUÍNOS

Autores: DALLA COSTA, F. A.*, OLIVEIRA, S. E. O., GIBSON, T. J., LUDTKE, C. B., DALLA COSTA, O. A.

20.1. INTRODUÇÃO

Em qualquer sistema de produção, inevitavelmente, haverá a necessidade de eliminar animais doentes ou feridos quando não há alternativas de tratamento ou o tratamento for inviável economicamente. Geralmente, o método de insensibilização e eliminação é escolhido pelo próprio produtor, que nem sempre opta pelo método mais apropriado ou possui os conhecimentos técnicos necessários para empregá-lo corretamente (DALLA COSTA et al., 2019). De toda forma, o método menos estressante e aversivo deve ser escolhido, promovendo uma insensibilização imediata (súbita perda da consciência) e uma morte rápida (CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA - CFMV, 2012; COUNCIL DIRECTIVE 1099/2009, 2009).

Os métodos mais usados são: concussão cerebral por meio de traumatismo craniano (AVMA, 2001; CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA - CFMV, 2012; WHITING et al., 2011), eletrocussão (AVMA, 2001; CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA - CFMV, 2012) e anóxia por meio de dióxido de carbono (AVMA, 2001; CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA - CFMV, 2012; SADLER et al., 2013, 2014). Quando utilizados corretamente, estes métodos são eficientes para insensibilizar e matar animais evitando sofrimentos prolongados e desnecessários. No entanto, a utilização correta desses métodos exige treinamentos devido à complexidade operacional e riscos aos operadores. Ademais, o método escolhido não deve parecer cruel à sociedade, a fim de evitar efeitos negativos à reputação do setor rural. Contudo, ainda existem dúvidas sobre quais são os melhores métodos e suas consequências para o bem-estar animal e a segurança dos operadores.

Neste capítulo abordaremos os fatores que devem ser considerados na escolha do método de insensibilização e descarte de suínos, considerando fatores relacionados ao bem-estar animal, particularidades de cada granja e segurança dos operadores.

20.2. MÉTODOS DE DESCARTE

20.2.1. Concussivos

O traumatismo craniano é o método mais utilizado para eliminação de suínos nas granjas (DALLA COSTA et al., 2019; MATTHIS, 2004). A concussão pode ser obtida por métodos mecânicos como, por exemplo, por meio de uma pistola de dardo cativo ou, no caso de animais jovens (até cinco quilogramas), através de um golpe contundente na cabeça do animal, que pode ser realizado com uma ferramenta rígida (exemplo: martelo ou barra de ferro; ver **Figura 1** a seguir) ou batendo a cabeça do animal contra uma superfície sólida e plana (ver **Figura 2** a seguir) (AVMA, 2001; CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA - CFMV, 2012). Estes métodos consistem na transferência de energia cinética de um objeto para o cérebro do animal (FAROUK, 2013; OLIVEIRA et al., 2017, 2018).

Figura 1. Traumatismo craniano de leitões - martelo. **Crédito:** Filipe Dalla Costa/Osmar Dalla Costa



Figura 2. Traumatismo craniano de leitões - batendo a cabeça do animal contra uma superfície sólida e plana. **Crédito:** Filipe Dalla Costa/Osmar Dalla Costa



Pistolas de dardo cativo podem ser do tipo penetrante ou não-penetrante (ver **Figura 3** a seguir). A principal diferença entre os métodos penetrantes e não-penetrantes é que o primeiro é projetado para penetrar o crânio e alcançar o cérebro do animal, causando uma perda imediata da consciência devido ao dano permanente e irreversível ao cérebro. Já o segundo deve induzir a inconsciência por meio do impacto de um dardo de maior diâmetro contra o crânio do animal, podendo ser reversível ou não, dependendo da severidade do dano causado.

Figura 3. Comparação de dardos das pistolas de dardo cativo penetrante (equipamento branco com dado mais fino, longo e extremidade côncava para penetração) e não penetrante (bastão preto com dardo mais curto, com maior diâmetro e extremidade convexa). **Crédito:** Filipe Dalla Costa



Métodos que causem insensibilização por concussão, como no uso de pistola de dardo cativo não-penetrante, trauma contundente ou com uso de martelo, causam grande aceleração/desaceleração e fornecem muita força cinética (momentum), rotação e cisalhamento para a cabeça e o cérebro do animal. Em quadrúpedes, os eixos do cérebro e da medula espinhal são quase lineares, o que reduz a ação das forças rotacionais após o impacto e pode tornar o animal muito menos vulnerável à concussão (FINNIE et al., 2001). Além disso, os cérebros desses animais são mais bem protegidos do que os dos humanos por músculos temporais bem desenvolvidos e grandes seios frontais. Em contraste, o método penetrante fornece alta energia cinética focal, mas produz um momentum relativamente baixo (OMMAYA; GOLDSMITH; THIBAUT, 2002). O objetivo deste método é induzir uma forma profunda e irreversível de concussão (GREGORY; LEE; WIDDICOMBE, 2007), pois há destruição permanente do tecido cerebral na cavidade produzida pelo dardo (FINNIE, 2016; OLIVEIRA et al., 2018). Para ambos os métodos, a perda de consciência é causada pela combinação de dano direto ao cérebro e pela quantidade de energia cinética transmitida à cabeça do animal (GIBSON et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2017, 2018).

Eliminar suínos por meio de um golpe contundente na cabeça (de forma manual) é aceito como um método efetivo apenas para leitões de menos de três semanas de idade (até 5 kg) (AVMA, 2001; COUNCIL DIRECTIVE 1099/2009, 2009; WIDOWSKI; ELGIE; LAWLIS, 2008; WOODS; SHEARER; HILL, 2010). Sua frequente utilização é justificada pelo baixo / ausente custo e "facilidade de utilização".

No entanto, golpear a cabeça dos animais é eticamente questionável devido a possíveis falhas operacionais para insensibilizar o animal, por ser um método esteticamente desagradável, que pode ser percebido como repulsivo pela sociedade, e consequentes efeitos aos operadores.

Existem vários riscos de acometer os leitões a situações de dor e sofrimento durante a utilização de golpe contundente (DALLA COSTA et al., 2019). Quando o operador não se sente confortável em realizar a prática ou não tem experiência suficiente, a técnica pode ser executada de forma inadequada (GIBSON et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2017; WALSH; PERCIVAL; TURNER, 2017). Em situações em que a posição de impacto desejada

não é atingida no primeiro momento, o impacto pode ser absorvido principalmente pelo corpo e pelos ombros, causando uma concussão incompleta. Isso pode ser agravado pela percepção da dor causada por lesões não concussivas associadas caso o animal continue consciente após a primeira tentativa de eliminação. Existe o risco de animais com concussão incompleta demorarem significativamente mais tempo a morrer, resultando em períodos intercalados de consciência e inconsciência até a morte.

O desempenho adequado depende da velocidade aplicada à cabeça, da experiência com a técnica, do treinamento adequado e da frequência de execução (DALLA COSTA et al., 2019; GIBSON et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2017). Com base nos reflexos dos animais, o uso do golpe contundente (ao acertar cabeças de leitões com um martelo de 227g) mostrou uma alta taxa de falha (12%; 6/50), que foi similarmente encontrada quando empregado em outras espécies (22%) (WALSH; PERCIVAL; TURNER, 2017). Apesar dos danos ao crânio e ao cérebro, esses resultados sugerem uma baixa efetividade da técnica na execução prática. Além disso, uma vez que o animal pode apresentar tentativas de se levantar e agonizar após o golpe, o reatordoamento do animal pode se tornar difícil, perigoso e psicologicamente exaustivo para o operador.

Poucos estudos avaliaram a eficácia dos equipamentos usados para descarte e eliminação de suínos. O uso de PDC (Pistolas de Dardo Cativo) pode ser uma alternativa eficaz para promover concussão cerebral, com menos riscos de comprometer o bem-estar animal se realizado corretamente. Um estudo (WIDOWSKI; ELGIE; LAWLIS, 2008) examinou o uso de PDC não-penetrante (Zephyr-Rabbit Stunner) e observou que 85% dos leitões ficaram imediatamente inconscientes após o disparo. No entanto, os autores relataram que o método ainda precisa ser melhorado devido a alguns animais (15%) sofrerem concussão incompleta e apresentarem sinais de retorno à consciência.

Após algumas modificações e melhorias nesse equipamento, foi verificado que a pistola foi capaz de produzir perda de reflexos de consciência, lesões cerebrais irreversíveis e a morte dentro de aproximadamente 3,75 min em 100% dos leitões (CASEY-TROTT et al., 2013, 2014). Resultados semelhantes de eficácia utilizando a mesma marca de pistola foram posteriormente encontrados por outros grupos - para leitões de 10,9 kg (GRIST et al., 2017) e coelhos (WALSH; PERCIVAL; TURNER, 2017), indicando o método como uma potencial alternativa no campo, sendo recomendado como um método humanitário para o descarte de leitões (do nascimento até os 49 dias de idade; ± 9 kg).

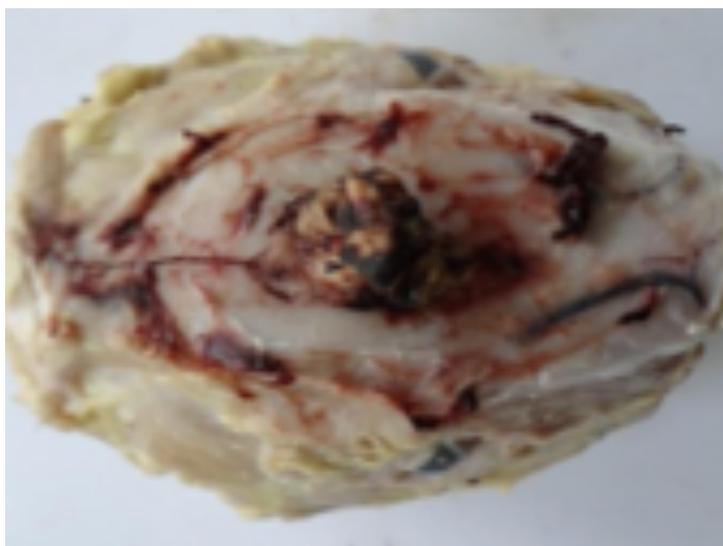
No entanto, dependendo do tamanho e idade dos animais, o método não-penetrante pode se tornar ineficaz. Por exemplo, em suínos em crescimento (15-18 kg), a PDC não-penetrante (Karl Schermer & Co, Karlsruhe, Alemanha) causou fratura apenas na face externa do osso cranial (FINNIE et al., 2003) e hemorragia leve na subaracnóide e na base do cérebro em somente 33% (2/6) dos animais testados. A pistola de dardo cativo penetrante foi mais efetiva em atordoar animais maiores (menos animais exibindo reflexos de consciência após o disparo) do que a não-penetrante (GIBSON et al., 2012, 2019; OLIVEIRA et al., 2018; SHARP et al., 2015). Quando testada em ovelhas, houve um maior número de fraturas no crânio causadas pelo método penetrante em comparação com o não penetrante (100% vs. 50%, respectivamente) (FINNIE et al., 2000).

Estudos de patologia cerebral macroscópica observaram lesão hemorrágica grande, profunda e bem definida na região cortical, com severa destruição e perda do tecido neural pelo método penetrante, com uma lesão primária no tálamo e uma hemorragia focal na medula e na ponte. A pistola de dardo cativo não-penetrante com 24 J (ver **Tabela 1** a seguir) causou fratura cranial em 100% dos leitões (até 3,9 mm de espessura de osso cranial) (CASEY-TROTT et al., 2014). Finnie (FINNIE et al., 2000) relatou apenas hematomas com hemorragia focal em um lado da substância branca central, porção rostral do tronco cerebral e tálamo, sem apresentar contusão contralateral. Altos índices de hemorragia

subcutânea, subdural e cerebral em regiões posteriores do cérebro, do mesencéfalo e do córtex também foram relatados em coelhos descartados com PDC não-penetrante (WALSH; PERCIVAL; TURNER, 2017). O córtex frontal é responsável pelo processo sensorial e sinalização para o tronco cerebral (GAETZ, 2004; SHAW, 2002). Esta região do cérebro é diretamente afetada pela penetração do dardo da PDC. Além disso, a presença de hemorragia e coágulos sanguíneos aumentam a pressão intracraniana, que é uma condição letal (YOUNG; DESTIAN, 2002). Considerando-se os danos cerebrais (lesões focais e difusas) e perda de sinais clínicos de consciência, o uso de métodos penetrantes foi considerado efetivo para várias espécies, como alpacas (GIBSON et al., 2015b), ovelhas (FINNIE et al., 2000) e bovinos (OLIVEIRA et al., 2018).

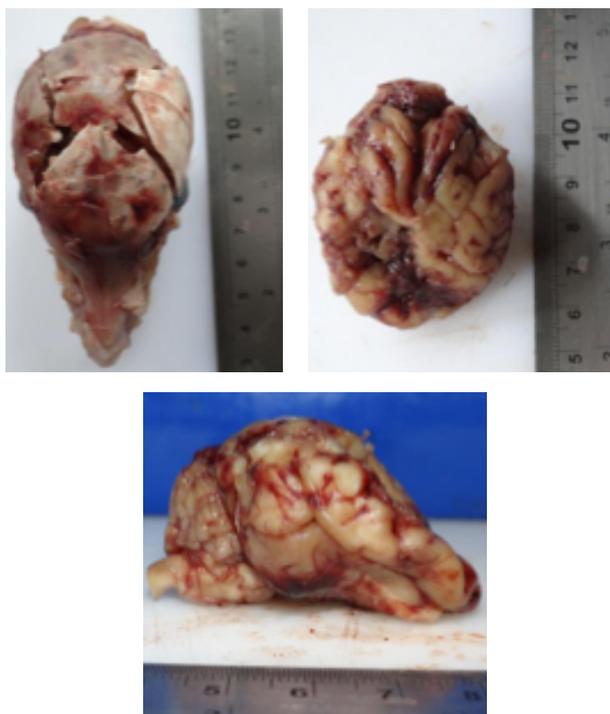
As figuras abaixo apresentam lesões encontradas em animais mortos por métodos de dardo cativo penetrante e não penetrante. Na **Figura 4** a seguir é possível observar inicialmente que o dardo cativo penetrante causou uma fratura linear no osso parietal, saindo do local de disparo no sentido caudal e extrusão de massa encefálica (A e B). No cérebro, houve separação dos hemisférios devido ao trauma (B), presença de uma extensa área hemorrágica circundando os ambos hemisférios (B e C) e grave lesão desde o lobo frontal até a região medular (B, C e D) com perda de tecido devido à passagem do dardo.

Figura 4. Lesões macroscópicas produzidas pelo método de dardo cativo penetrante em um suíno de 2-7 kg. **Crédito:** Filipe Dalla Costa



Já com o método de pistola de dardo cativo não penetrante (ver **Figura 5** a seguir), encontrou-se um maior número de fraturas lineares no crânio (A) e menor extensão de hemorragia ao redor do cérebro, com lesões mais concentradas somente na região frontal, parietal e temporal (B, C e D).

Figura 5. Lesões macroscópicas produzidas pelo método de dardo cativo penetrante em um leitão de até 2 kg.



Embora a PDC penetrante seja eficaz para algumas espécies (FINNIE et al., 1999, 2000, 2001; GIBSON et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2018), aspectos anatômicos da cabeça dos animais podem influenciar a transferência de energia cinética. Os suínos adultos apresentam seios frontais grandes, cavidade craniana curvada, cérebro alongado e relativamente estreito, e cerebelo curto e largo (FINNIE et al., 2003). Os seios frontais, que são relativamente maiores do que em outras espécies, podem reduzir a eficiência da transferência de energia cinética no momento do impacto do dardo cativo para a região frontal da cabeça. Assim, ainda são necessários mais estudos utilizando maiores valores de energia cinética e comprimentos de dardo para compensar a energia dissipada que atravessa os grandes seios frontais ou que possam fraturar os grossos ossos do crânio e causar dano cerebral significativo para induzir inconsciência (BLUMBERGS, 1997; FINNIE et al., 2003; GRAHAM; GENNARELLI, 1997).

Concussões incompletas devido ao uso inadequado destes métodos podem resultar em dor e estresse. Quando um animal apresenta quaisquer sinais de retorno à consciência, um segundo disparo deve ser realizado na posição correta ou próximo a esta, com a intenção de causar danos diretos ou indiretos no tronco cerebral (GIBSON et al., 2018). Essa estrutura é responsável pelos bioritmos nos mamíferos, como respiração rítmica e ritmo cardíaco (SHAW, 2002). Com base nas avaliações de EEG (Eletroencefalograma), os leitões com concussões incompletas (31 dias de idade) podem retornar à consciência em até 25 segundos após o atordoamento e só apresentarem morte encefálica 115 segundos após a sangria (BLACKMORE; NEWHOOK, 1981).

As pistolas de dardo cativo penetrante acionadas por molas foram desenvolvidas para uso em porquinhos-da-índia e coelhos, sendo supostamente eficazes para o descarte de leitões. No entanto, um estudo com cangurus jovens mostrou que esse equipamento foi ineficaz (Dick KTBG e Finito 244; ver **Tabela 1** a seguir). Traumas concussivos, penetrante ou

não, têm menor eficácia para animais jovens, o que pode estar associado às características de seus crânios, que são mais flexíveis e menos ossificados e dissiparia a energia do dardo antes da sua transferência para o cérebro (SHARP et al., 2015; SVENDSEN et al., 2008). Assim, com base na eficácia e diferenças anatômicas, são necessários estudos específicos para cada espécie, de acordo com a idade e o tamanho dos animais (categoria), para definir métodos humanitários de eliminação e descarte.

A **Tabela 1** a seguir apresenta um resumo e uma descrição sobre os diferentes modelos de equipamentos testados e disponíveis no mercado. Esses dados podem ser utilizados para orientar a aquisição e utilização dos equipamentos de acordo com cada categoria animal e realidades encontradas em cada propriedade rural.

Tabela 1. Desempenho de pistolas de dardo cativo (PDC) de acordo com o modelo e potência de cartucho.

Modelos de PDC	Cartucho/ Potência	Peso do dardo (g)	Média do pico de velocidade de disparo (m.s⁻¹)	Velocidade de disparo	Média do pico de energia cinética (J)	Referência
Cash Poultry Killer - CPK	1.0 gr brown	179	291	19.3 - 30.9	75.9	Gibson et al. 2017
Turkey Euthanasia Device - TED	Propano	61	30.4	25.4 - 30.9	28.4	Gibson et al. 2017
Zephyr-EXL	120 psi - compressor portátil	69	26.6	14.2 - 27.7	24.4	Gibson et al. 2017
Dick KTBG	Mola	120	9.1	8.4 - 12.7	4.94	Sharp et al. 2015
Finito 244	Mola	102	8.8	8.2 - 9.2	3.92	Sharp et al. 2015
.22 Cash Special	1.0 gr	211	30.3	24.1 - 34.6	97.0	Gibson et al. 2015
.22 Cash Special	1.25 gr Rosa	211	44.6	41.4 - 45.8	210.0	Gibson et al. 2015
.22 Cash Special*	5 gr Vermelho	211	68.6	67.5 - 71.3	496.3	Dados não publicados ¹
.22 CTrade TEC 10*	4 gr Verde	182	71.5	67.2 - 77.1	464.0	Dados não publicados ¹
.22 Gil Umana*	3 gr Branco	180	90.2	79.9 - 123.3	732.9	Dados não publicados ¹
.22 GIL Umana*	4 gr Verde	180	81.3	66.0 - 127.7	612.7	Dados não publicados ¹
.22 GIL Umana*	5 gr Vermelho	180	94.0	75.8 - 116.6	796.2	Dados não publicados ¹

* Pistolas que potencialmente podem ser utilizadas para suínos de terminação e adultos.

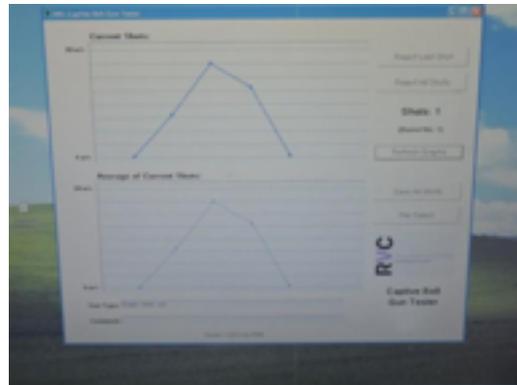
¹Dados não publicados da base de dados dos autores

20.2.2. Desempenho do PDC e cartuchos de diferentes potências

Cartuchos de potência mais altas são geralmente recomendados para animais maiores por resultarem na transferência de valores maiores de energia cinética. Contudo, isso nem sempre se reflete na prática. Uma comparação do desempenho de diferentes combinações de cartuchos usadas na pistola 22 GIL Umana é apresentada na **Figura 7** a seguir.

Esses dados foram obtidos pela análise da velocidade do dardo obtida por um equipamento eletrônico. Esse protótipo experimental consiste em um barril com seis pares de feixes de laser. Assim, como a distância entre os sensores já é conhecido, o tempo de cruzamento entre dois pares de sensores é registrado e a velocidade média é calculada e armazenada para análise, como mostrado na **Figura 6** a seguir.

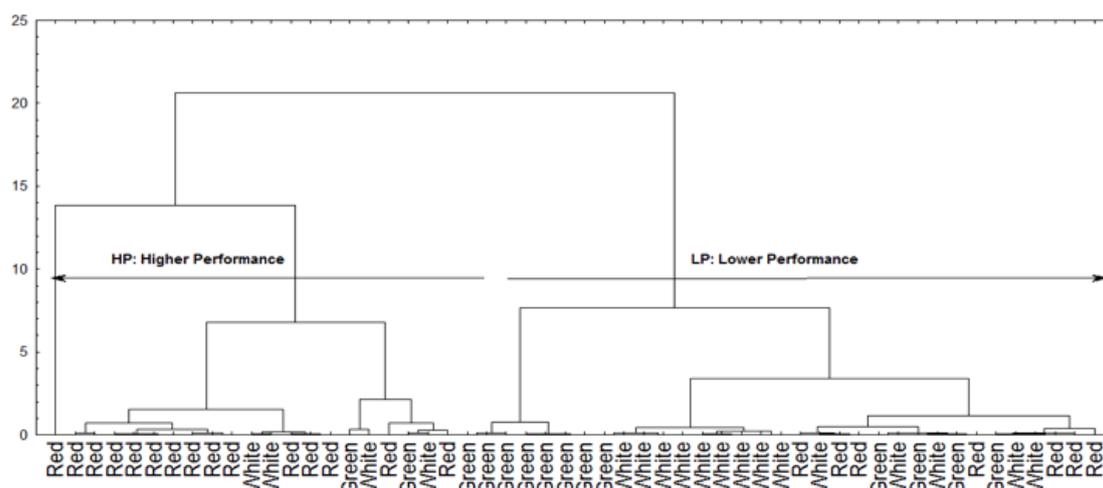
Figura 6. Avaliação da velocidade de pistolas de dardo cativo. **Crédito:** Filipe Dalla Costa/Steffan Edward



A análise de agrupamento (ver **Figura 7** a seguir) separou os cartuchos em maior (HP; à esquerda) e menor desempenho (LP; à direita) de acordo com o pico da velocidade do dardo e energia cinética calculada. O grupo HP é formado principalmente por cartuchos vermelhos ("Red" 15 de um total de 21 disparos), enquanto LP por cartuchos brancos ("White" 14/33) e verdes ("Green" 12/33). No entanto, alguns dos cartuchos vermelhos apresentaram desempenho menor do que os brancos nos disparos, e alguns dos cartuchos brancos foram posicionados perto dos cartuchos do grupo HP. As médias de pico de velocidade e energia cinética (dados apresentados na **Tabela 1** a seguir) entre os cartuchos de diferentes potências não foram diferentes estatisticamente ($P > 0,05$) quando testados na PDC .22 GIL Umana. O desempenho do PDC pode ser afetado por fatores como: quantidade de pólvora no cartucho, armazenamento dos cartuchos e umidade no interior da câmara de explosão da pistola (igual para todos os cartuchos nesse teste), que influencia na queima da pólvora; e manutenção da PDC, principalmente removendo o acúmulo excessivo de carbono no cano do PDC e ao redor dos amortecedores da PDC (GIBSON et al., 2015a; GRANDIN, 1980, 1994, 2002; GREGORY; SHAW, 2000). A variação de desempenho entre as mesmas cores de cartuchos pode indicar variações no controle de qualidade durante a fabricação. Alguns estudos estrangeiros observaram variações de desempenho similares (BRISTOL, 2016; GIBSON et al., 2015a). Neste estudo, a energia

cinética encontrada para estas pistolas foi maior do que as encontradas na literatura para insensibilizar touros adultos usando diferente tipos de PDC (127 – 200 J) (BLACKMORE, 1985; GIBSON et al., 2012). Assim, em teoria, esses dados do teste de .22 GIL Umana, Cash Special (5 gr Red) e CTrade TEC 10 (4 gr Green) sugerem que as combinações testadas de PDC / cartucho podem ser potencialmente eficazes em produzir inconsciência irreversível em suínos desde o nascimento até a fase adulta. As PDC desenvolvidas para atordoamento de búfalos, como a Magnum XL com cartuchos de 6 gramas (Acceles e Shelvoke Ltd) e a Schermer KL (Karl Schermer GmbH & Co), podem ser uma alternativa para suínos adultos (DE LA CRUZ et al., 2018). No entanto, para fins de novas recomendações, mais estudos são necessários sobre a energia cinética mínima necessária para insensibilizar suínos adultos, os sinais clínicos dos animais após a insensibilização e patologia cerebral macroscópica; devido a algumas particularidades na anatomia dos suínos.

Figura 7. Dendrograma formado pelo pico de velocidade e energia cinética transmitida através do dardo em 54 disparos utilizando a PDC .22 GIL Umana.



20.2.3. Prevenção de acidentes utilizando a PDC

Apesar das preocupações sobre acidentes usando o PDC para matar animais (MATTHIS, 2004), lesões causadas pela pistola de dardos são raramente relatadas. A maioria dos casos relatados refere-se a homicídio (BETZ et al., 1993; CAIRD et al., 2000; SIMIC et al., 2007) e suicídio (CAIRD et al., 2000; GNJIDIĆ et al., 2002; GRELLNER; BUHMANN; WILSKÉ, 2000; VIEL et al., 2009; VIOLA et al., 2004), especialmente de países europeus (KATTIMANI; SHETTY; MIRZA, 2016), com taxa de mortalidade de mais de 60% (GNJIDIĆ et al., 2002; KATTIMANI; SHETTY; MIRZA, 2016). Devido à característica das armas, o uso de pistolas de dardos cativos para homicídios é incomum. Ferimentos graves podem ser causados apenas quando as armas são disparadas a uma distância menor que 10 cm do alvo (BETZ et al., 1993; JANSSEN; STIEGER, 1964). Muitos acidentes relacionados com o trabalho na produção podem ser evitados com orientação adequada e programas de treinamento (CASEY-TROTT et al., 2014; WHITING et al., 2011). Por exemplo, o acidente relatado envolvendo um homem que acidentalmente atirou em sua coxa enquanto segurava um bezerro entre suas pernas durante o procedimento de eliminação do animal na produção (KATTIMANI; SHETTY; MIRZA, 2016). Esse tipo de acidente poderia ter sido evitado usando técnicas de contenção apropriadas e treinamentos para os operadores.

20.2.4. Armas de fogo

Armas de fogo também podem ser utilizadas no descarte de suínos adultos nas granjas devido à maior velocidade do projétil (580–770 ms⁻¹), e pelo fato de um projétil de pequena massa disparado na cabeça fornecer significativamente mais energia cinética do que o dardo de uma pistola de dardo cativo (ANIL, 2012; GIBSON et al., 2012, 2015c, 2015a; SCHIFFER et al., 2014). Com um disparo com armas de fogo, a perda de consciência é causada pela quantidade de energia cinética liberada e consequente laceração cerebral, o que evita que os animais recuperem a consciência.

Com base em lesões nas estruturas cerebrais relacionadas à perda de consciência, o uso de várias armas de fogo e munições (pistola .45, carabina .223 e escopeta calibre 12) podem ser utilizadas na prática (THOMSON et al., 2013). Projéteis sólidos de 16 mm disparados por uma espingarda de calibre 12 resultaram em energia cinética de 3.334 J (25 g x 4882 m.s⁻¹) e 2.251 J (28 g x 4012 m.s⁻¹) e penetraram no crânio de suínos machos e fêmeas adultas, enquanto um projétil de 9 mm com 178 J não penetrou no crânio de suínos em terminação (75 kg) (BLACKMORE, 1985; BLACKMORE et al., 1995) e causou dano insuficiente para garantir uma morte rápida (BLACKMORE et al., 1995; THOMSON et al., 2013). Curiosamente, observou-se que, para alguns suínos machos adultos, mesmo um tiro certo de uma espingarda calibre 12, quando disparada com 50 cm de distância da cabeça, tem energia insuficiente para penetrar na calota craniana e entrar no cérebro para causar inconsciência e morte.

Gibson et al. (GIBSON et al., 2015c) concluíram que um rifle .22 foi eficaz para causar insensibilidade instantânea e irreversível em cavalos e pôneis devido ao dano extensivo a múltiplas regiões cerebrais. O posicionamento correto e o ângulo do tiro são essenciais para a efetividade. Enquanto Schiffer et al. (SCHIFFER et al., 2014) encontraram danos cerebrais mais severos em bovinos com tiros disparados na posição frontal do que na lateral (.22 Hornet e Magnum com munições com calibre de 30–06; 9,3 x 62). Finnie (FINNIE, 1993) relatou danos cerebrais mais severos que resultaram em morte quando as ovelhas foram atingidas de uma posição lateral para a região temporal da cabeça (rifle .22; balas de baixa e alta velocidade). Burnet (BURNETT, 1991) relatou fragmentos ósseos no cérebro de porcos atingidos na cabeça. Embora os tiros possam entrar na posição recomendada, variações no ângulo do projétil altera as trajetórias das balas, o que pode influenciar a gravidade do dano cerebral (MILLAR; MILLS, 2000).

A eficácia durante o uso de armas acionadas por cartuchos de pólvora é determinada pelos seguintes fatores:

- Armazenamento adequado de cartuchos - sem umidade;
- Escolha do tipo de arma;
- Potência do cartucho e comprimento do dardo;
- Velocidade do dardo/projétil e quantidade de energia cinética transferida para a cabeça dos animais;
- Contenção dos animais;
- Treinamento/experiência do operador;
- Posição e ângulo corretos (variações entre tamanho do animal e ângulo de disparo);
- Dano cerebral;
- Realização de sangria após a insensibilização ou pithing (destruição cerebral).

20.2.5. Métodos elétricos

Os métodos elétricos envolvem a passagem de corrente elétrica pela cabeça do suíno e resulta em insensibilização e inconsciência por meio da indução ao estado de epilepsia. Esse método pode ser feito em combinação com a aplicação de corrente no coração para induzir parada cardíaca ou deve ser seguido da sangria do animal para evitar o retorno à consciência. O objetivo é causar rápida inconsciência e insensibilidade antes da percepção da dor associada ao método. Em mamíferos, tem sido relatado que a insensibilização elétrica induz a inconsciência dentro de 100 ms da aplicação, o que evita que a transmissão de impulsos nociceptivos via sistema nervoso central sejam percebidos como dor, o que ocorre entre 100-150 ms (WOTTON, 1996).

Vários dispositivos como unidades móveis, menores que os usados em abatedouros, são usados para insensibilizar e descartar suínos por eletrocussão. Idealmente, insensibilizadores elétricos móveis devem ter um transformador, caixa de segurança e dois eletrodos que são alocados na cabeça do animal (DENICOURT et al., 2010; MORES; MORES, 2014). A insensibilização elétrica pode ser executada de três formas diferentes. Isso pode ser feito aplicando-se uma corrente elétrica somente na cabeça, ou então, aplicada na cabeça e seguida de uma segunda corrente aplicada no peito, atrás da posição do coração (atordoamento cabeça-peito/peito), ou nas costas (atordoamento cabeça-costas) para induzir fibrilação ventricular cardíaca.

Quando uma insensibilização é realizada somente na cabeça, um procedimento secundário, como a sangria, deve ser executada para impedir a recuperação da consciência. No entanto, alguns sistemas caseiros, que muitas vezes não são recomendados e aceitos por órgãos competentes (tanto em termos de saúde e segurança do operador quanto de bem-estar animal) variam na aplicação e forma dos eletrodos (clipes popularmente chamados de jacaré) que são geralmente aplicados na orelha e virilha ou cauda. Existem problemas significativos de bem-estar animal e saúde e segurança do operador com esses sistemas caseiros. A aplicação dos eletrodos de garra jacaré, que geralmente são clipes grandes de cabos de ligação de carros, pode causar dor. A corrente elétrica, em alguns casos, pode ser insuficiente para causar inconsciência e até mesmo ignorar principalmente o cérebro, causando parada cardíaca sem inconsciência.

Nestes casos, a morte encefálica será por hipóxia associada à falta de suprimento sanguíneo cerebral, que se prolongará até a morte e resultará em sofrimento. No entanto, este método é atrativo devido ao seu baixo custo e por reduzir as convulsões clônicas após a insensibilização, o que se deve à inibição da função da medula espinhal (DALLA COSTA et al., 2019).

Para o uso no campo, o sistema caseiro conectado à fonte de alimentação doméstica (110 e 220 V, 50-60 Hz) geralmente não garante a corrente mínima recomendada de 1,3 A (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA), 2004). Além disso, sem utilizar o gerador, a corrente será atraída por diferença de potencial elétrico. Dessa forma, a corrente mínima necessária para tornar o animal inconsciente pode não ser atingida para animais recém-nascidos e leitões pequenos.

Quando usados eletrodos em boas condições e corretamente posicionados na cabeça de suínos, uma tensão mínima de 240-250 V é necessária para atingir o fluxo de corrente necessário (DENICOURT et al., 2010; EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA), 2004). Para insensibilização elétrica com equipamentos comerciais, os eletrodos devem ser aplicados corretamente para fornecer uma corrente elétrica mínima de 1,3 A contínuo durante pelo menos um segundo para tornar os animais inconscientes instantaneamente (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA), 2004; HOENDERKEN, 1978). Embora os suínos percam a

consciência em menos de um segundo, esse tempo é recomendado devido à facilidade de mensuração e para garantir a eficácia do atordoamento elétrico.

20.2.6. Gás

A inalação de dióxido de carbono (CO₂) reduz o pH do sangue e do líquido cefalorraquidiano, o que provoca acidose intracelular respiratória, metabólica e nas células cerebrais e induz a um estado de inconsciência no animal (LAMBOOIJ et al., 1999; MARTOFT et al., 2003; RAJ, 2008b). Devido à diminuição mais rápida (58 s) do pH intracelular (de 7,28-6,73), os suínos são rapidamente anestesiados pela inalação de alta concentração de CO₂ (90%) (MARTOFT et al., 2003).

Baseado nisso, altas concentrações de CO₂ foram relatadas para reduzir a atividade do cérebro e sinais clínicos de consciência (FORSLID, 1987; RAJ et al., 1997; RING et al., 1988). Neste sistema, os suínos são colocados em uma caixa fechada pré-preenchida com uma alta concentração de gás (≥85-90%). Para melhorar a eficácia da insensibilização, o tempo mínimo de ciclo deve ser maior que 130 segundos e a caixa pré-preenchida com o gás por pelo menos cinco minutos deve ser usada para uma morte efetiva sem necessidade de sangramento para esse tempo de exposição (NATIONAL PORK BOARD, 2009).

Em altas concentrações de CO₂ (95%-80%), Verhoeven et al. (VERHOEVEN et al., 2016) relataram perda de consciência de suínos em 33-47 segundos, com EEG (eletroencefalograma) isoeletrico entre 64-75 segundos e perda de postura/colapso em 10 segundos antes do EEG isoeletrico. Os autores relataram comportamentos relacionado ao desconforto como movimentos de irritação das narinas, tentativas de recuo, movimentos laterais da cabeça, convulsões e engasgos em altas concentrações de CO₂.

A toxicose induzida por CO₂ é um processo gradual e não é instantânea como outros métodos. Apesar das melhorias em muitos sistemas comerciais de CO₂, o uso de dióxido de carbono como método de insensibilização e morte para suínos ainda está em estudo devido a preocupações com o bem-estar animal. Os animais apresentam respostas aversivas à exposição ao dióxido de carbono (ANTON; EUCHNER; HANDWERKER, 1992; LEACH et al., 2002, 2004) devido à formação de ácido carbônico nas mucosas.

Mesmo em menor concentração (30-54%), seres humanos expostos ao CO₂ apresentaram sensações dolorosas. Humanos relataram os limiares para nociceptores de: 31-34% CO₂ para córnea (CHEN et al., 1995; FENG; SIMPSON, 2003); 54% de CO₂ para conjuntiva (FENG; SIMPSON, 2003); 40-50% de CO₂ para a mucosa nasal (ANTON; EUCHNER; HANDWERKER, 1992; DANNEMAN; STEIN; WALSHAW, 1997; THÜRAUF et al., 2002) e 48% para a dor excessiva (CHEN et al., 1995). Além do componente nocivo do CO₂, há preocupações associadas à sensação de falta de ar induzida e à experiência de ansiedade e angústia antes do início da inconsciência em uma concentração de 8% (BEAUSOLEIL; MELLOR, 2015; DRIPPS; COMROE, 1947; LIOTTI et al., 2001). Sensação desconfortável de urgência para respirar é observada no início da exposição ao CO₂. Esse desconforto respiratório aumenta em resposta à inalação de CO₂ (BANZETT et al., 1996; LIOTTI et al., 2001; VERHOEVEN et al., 2016).

A dor é um sinal de condições prejudiciais e possíveis danos aos tecidos do corpo. Dispneia e falta de ar são comportamentos indicativos de ventilação inadequada na exposição a CO₂. Nessa condição, o excesso de dióxido de carbono atua como um agente nocivo aos tecidos pulmonares e às condições fisiológicas do corpo. Para prevenir danos nos tecidos e problemas iminentes, uma série de reações é desencadeada para atender à necessidade de restaurar os níveis adequados de oxigênio e o equilíbrio ácido-base (BANZETT; GRACELY; LANSING, 2007; VELARDE; RAJ, 2016). Portanto, os suínos experimentam

sensações angustiantes durante a exposição ao CO₂ devido ao estímulo doloroso e às suas reações.

Diversos estudos utilizando misturas de gases foram avaliados para encontrar um método mais rápido e eficaz de insensibilização e morte. Outros gases como argônio (FIEDLER et al., 2016) e óxido nitroso (RAULT et al., 2013, 2015) são alternativas menos aversivas para suínos. No entanto, a literatura é contraditória em conclusões de uso de mistura de gases (RAJ, 1999; SADLER et al., 2014). Perda de postura pode ser considerada o primeiro sinal de inconsciência. Do ponto de vista do bem-estar animal, o argônio parece ser menos aversivo e efetivo em interromper a atividade cerebral. Os suínos mostraram menor aversão a 90% de argônio do que a mistura de gás com nitrogênio e CO₂ (DALMAU et al., 2010; LLONCH et al., 2012). Tempos semelhantes de perda de postura (15-18 segundos) foram encontrados para 90% de argônio, 80-90% de CO₂ e mistura de 60% de argônio + 30% de CO₂ (RAJ, 1999). O tempo de perda das respostas de sinais clínicos foi menor em 90% de argônio do que nas misturas de gases (60% de argônio + 30% de CO₂) e 90% de CO₂ (RAJ et al., 1997). Embora a perda de sensibilidade de suínos seja mais rápida em 90% de argônio, houve um tempo maior para obter um EEG isoeletrico. Uma exposição à mistura de 85% de nitrogênio e 15% de dióxido de carbono por 180 s foi recomendada para induzir a inconsciência (EEG isoeletrico) em suínos, com duração aproximada de 48 segundos (DEFRA, 2010).

Com base nos achados da literatura (RAJ, 1999; RAJ et al., 1997), as quatro alternativas seguintes de exposição a gases podem ser consideradas no descarte de suínos:

1. Cinco minutos de exposição à mistura gasosa (60% de argônio + 30 CO₂) seguido de sangramento (dentro de 45 segundos);
2. Sete minutos de exposição à mistura gasosa (60% de argônio + 30 CO₂);
3. Sete minutos de exposição ao argônio seguido de sangramento;
4. Exposição ao argônio por mais de 7 minutos.

No entanto, com base em observações comportamentais (como perda de postura, ataxia e reflexo de endireitamento onde o animal tenta recuperar a postura), mesmo em altas taxas de fluxo, a mistura gasosa de 50% argônio + 50% CO₂ não mostrou vantagens para o bem-estar animal, nem eficácia em neonatos e leitões desmamados (SADLER et al., 2014).

Óxido nitroso é comumente conhecido como gás do riso. Seu uso inclui benefícios como alívio da dor, sedação e efeitos ansiolíticos (RAULT et al., 2013). Devido à sua facilidade de manuseio (não inflamável, legalidade de avaliação e baixo custo), o desenvolvimento de equipamentos na produção para descartar suínos pode promover o bem-estar animal durante esses procedimentos. Apesar de seu tempo mais longo para a morte, comparado a 90% de CO₂ e misturas gasosas (60% N₂O + 30% CO₂; 60% Argônio + 30% CO₂; 60% N₂ + 30% CO₂), a exposição de suínos ao N₂O causou anestesia sem causar comportamento de agitação excessiva. Portanto, o uso de N₂O seguido de parada cardíaca, sangramento ou imersão em CO₂ poderia apresentar benefícios (RAULT et al., 2013, 2015).

O uso da espuma como método de eliminação tem sido discutido dentro da comunidade científica (BERG; RAJ, 2015). Essa técnica consiste em encher uma caixa com espuma de alta expansão (grandes bolhas) com nitrogênio puro ao invés de gás. A espuma usada no método é feita de bolhas de gás presas em solução aquosa e espuma concentrada (detergente) que envolve o animal (RAJ, 2008a). Ao contrário do que se pensava anteriormente (BENSON et al., 2007; GURUNG et al., 2018a; THORNBERRY; RUBIRA; STYLES, 2014), um estudo recente sugere que a espuma provoca a morte por hipóxia sem causar obstrução mecânica.

Espumas com gases como CO₂ e N₂ foram avaliadas (GURUNG et al., 2018a; MCKEEGAN et al., 2013). Embora o CO₂ tenha gerado uma morte mais rápida em aves, o nitrogênio

apresentou mais vantagens, como melhor qualidade do gás (alta expansão) e menor aversão (GURUNG et al., 2018a; MCKEEGAN et al., 2013). Além disso, a redução do contato do operador com os animais e a redução da utilização de gás podem tornar a técnica mais viável para o descarte de suínos, especialmente em casos de problemas sanitários (DAWSON et al., 2006; GURUNG et al., 2018a, 2018b; MCKEEGAN et al., 2013). No entanto, devido ao longo tempo gasto para perder a consciência dos leitões (10-12 minutos, com convulsões que terminam 77s após a imersão na espuma) (MARAHRENS et al., 2017) e sinais de alguns animais recuperando a consciência, a espuma de nitrogênio precisa de melhorias significativas. Além disso, estudos que avaliem diferentes taxas de expansão de espuma na perspectiva do bem-estar animal devem ser feitos antes de seu uso para insensibilização/descarte de suínos.

20.2.7. Atmosfera de baixa pressão (Low Atmosphere Pressure Stunning – LAPS)

A LAPS (Insensibilização por Atmosfera de Baixa Pressão, da sigla em inglês) é um sistema desenvolvido recentemente que insensibiliza animais por meio de hipóxia causada pela redução da pressão atmosférica. O ar é gradualmente retirado a uma taxa constante por uma bomba de vácuo, causando uma redução na tensão de oxigênio, fazendo com que o animal fique inconsciente. A LAPS é visto como um método equivalente aos sistemas baseados em gás no ponto de vista do bem-estar animal.

A perda de consciência ocorre quando a pressão do oxigênio atinge um nível insuficiente para suportar as funções cerebrais, similarmente ao que ocorre nas câmaras preenchidas por gases anóxicos. O consumo de oxigênio no cérebro humano normal é de aproximadamente 3,5 ml de O₂ por 100 g de tecido cerebral/min (20% do consumo total do corpo) (BUTTERWORTH, 2006; PEARIGEN; GWINN; SIMON, 1996). Assim, o oxigênio consumido por um homem de 70 kg com um cérebro de 1.400 g (~ 2% do peso corporal) é de aproximadamente -49 ml O₂ / min (20% do consumo corporal - 250 ml / min) (BUTTERWORTH, 2006; GANONG, 1987; KLABUNDE, 2005; PEARIGEN; GWINN; SIMON, 1996). Em humanos, o padrão normal de EEG é perdido quando o nível de oxigênio do tecido cerebral (pO₂) é menor que 20 mmHg (PEARIGEN; GWINN; SIMON, 1996). Estudos com aves utilizando LAPS mostraram que há uma redução de aproximadamente 85% na concentração de oxigênio no sangue (PURSWELL; THAXTON; BRANTON, 2007), que pode estar associada à redução de 90% da atividade cerebral no eletroencefalograma (EEG) (OLIVEIRA et al., 2018; RAJ, 1998; SANDERCOCK et al., 2014) e perda de consciência (GIBSON et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2018; SANDERCOCK et al., 2014).

A taxa gradual e lenta de redução de pressão permite a acomodação de gases corporais sem causar dor e desconforto (SMITH, 1965). Na fase inicial da descompressão (baixa tensão de oxigênio), os humanos relataram uma sensação de euforia (VAN LIERE, 1943). Com base na análise comportamental de aves, o tempo até a perda da postura, convulsões e ausência de movimentos no LAPS foi de aproximadamente 60 a 65 segundos (MARTIN et al., 2017; VIZZIER-THAXTON et al., 2010). A supressão do EEG foi encontrada 30 segundos (MCKEEGAN; SANDERCOCK; GERRITZEN, 2013). Martin et al. (MARTIN et al., 2017) relataram EEG e ECG indicando inconsciência e bradicardia a 50-60 segundos e variando de 42 a 52 segundos, respectivamente. Além disso, em LAPS com redução lenta de pressão, a perda de consciência não foi relatada como uma experiência desconfortável ou dolorosa por seres humanos em câmaras hiperbáricas (SMITH, 1965).

Assim, quando controlada e realizada lenta e adequadamente, a literatura inicial sugere que a LAPS pode ser um método humanitário de atordoamento para aves. Muitas pesquisas

melhoraram os procedimentos de atordoamento do LAPS para aves. No entanto, existe uma profunda falta de conhecimento sobre os seus efeitos e procedimentos no bem-estar de suínos e outras espécies.

20.2.8. LAPS para suínos

Apesar de estudos com hipóxia terem sido amplamente realizados e seus efeitos bem compreendidos, a literatura sobre o uso de LAPS com suínos é extremamente limitada. Um dos desafios concerne ao fato de que situações de hipóxia e hipobárica poderem existir de forma independente ou simultânea. A condição de hipóxia (oxigenação inadequada do sangue) pode ser alcançada pela redução na pressão atmosférica, resultando em perda de consciência e morte.

Alguns pesquisadores avaliaram o sistema LAPS para insensibilizar/matar leitões usando EEG, ECG (eletrocardiograma), observações de comportamento e patologia macroscópica. Usando uma taxa de descompressão gradual e lenta (hipóxia hipobárica ascendente de aproximadamente 6,7 m / seg), Engle et al. (ENGLE; EDWARDS, 2010) relataram que os suínos mostraram respiração pesada e perda de coordenação a 27,22 kPa, em que todos os suínos estavam deitados e continuavam respirando a 19,32 kPa, e todos os movimentos cessaram a 15,16 kPa.

Buzzard (BUZZARD, 2012) relatou vocalizações e ofegação nos primeiros cinco minutos de exposição a 6,6 kPa. Os suínos geralmente perdem a consciência quando expostos a 2% de oxigênio em 15 segundos (RAJ, 1999), o que ocorreria em 16 kPa. Nesta pressão, o tempo até a morte é de aproximadamente sete minutos (RAJ, 1999). No entanto, um efeito da idade pode afetar a duração dos ciclos. Engle et al. (ENGLE; EDWARDS, 2010) encontraram um tempo até a morte (parada cardíaca) entre 15 e 29 minutos.

As observações comportamentais, análises de patologia macroscópica e EEG, de Engle et al. (ENGLE; EDWARDS, 2010) relataram que uma taxa de subida de aproximadamente 36,9 m/seg para atingir a pressão de 19,32 kPa seria a forma mais apropriada para insensibiliza/matar suínos devido à menor quantidade de respostas comportamentais negativas observadas. No entanto, devido ao pequeno tamanho da amostra utilizada e dados confusos de EEG e comportamento, mais estudos são necessários para uma visão mais confiável das respostas animais submetidos ao método de LAP em uma operação comercial em suínos de diferentes categorias.

Devido à condição de hipóxia, os suínos podem apresentar sinais de cianose com as mucosas do nariz, lábios e língua azuis pálidas na avaliação *post-mortem* (ENGLE; EDWARDS, 2010). Na patologia macroscópica, edema pulmonar, congestão e atelectasia são comumente encontrados, enquanto enfisema subcutâneo difuso e congestão pulmonar são menos frequentemente observados. No entanto, alguns suínos não apresentaram lesões *post-mortem* após a morte com LAP (ENGLE; EDWARDS, 2010).

20.3. CONTENÇÃO DOS ANIMAIS

Independentemente do método escolhido pelo operador, a contenção do animal é essencial para o sucesso da prática. Contudo, é necessário que cada granja busque desenvolver ou adaptar seu local de acordo com suas necessidades e limitações específicas.

Um equipamento básico e necessário, que está presente na grande maioria das granjas, é o cachimbo, que permite a contenção da cabeça do animal.

Dependendo do estado dos animais de terminação e reprodutores (machos e fêmeas), estes podem ser contidos com ajuda de um cachimbo para aplicação da técnica. Nesse caso, é de extrema importância que o operador observe o local como um todo e, quando possível, remova os animais próximos ou o próprio animal do local a fim de evitar acidentes operacionais. Após a aplicação do método, os animais podem apresentar convulsões (o que, na realidade, pode demonstrar uma boa insensibilização) o que pode causar graves acidentes nas baias ou celas. Quando for necessário sacrificar uma matriz dentro de uma cela, recomenda-se remover os animais posicionados aos lados a fim de evitar lesões e estresse nos demais. No entanto, sempre que possível, o animal deve ser removido das baias/celas para um local calmo e sem animais próximos, ou até mesmo para o corredor, para se realizar o descarte com menores riscos de acidentes.

20.4. CONCLUSÃO

Existem vários métodos para o descarte de suínos. Apesar do recente progresso na insensibilização para abate comercial, tem havido pouco desenvolvimento de métodos de eliminação e descarte de suínos. Mesmo para aqueles atualmente recomendados, há evidências científicas limitadas para apoiar o seu uso rotineiro.

A concussão por traumatismo craniano é atualmente o método de descarte mais utilizado para leitões. No entanto, esse método deve ser aprimorado ou substituído por outros métodos alternativos mais eficazes que melhorem o bem-estar dos animais.

Pistolas de dardos cativos podem ser uma alternativa eficaz nas granjas como um método de descarte quando utilizadas por operadores devidamente treinados. Atmosfera controlada por meio de inserção de gases anóxicos podem ser utilizadas. Contudo, pode apresentar limitações para animais grandes devido ao tamanho da câmara e perda de gás. Nesse ponto, o uso de atmosfera de baixa pressão, que é uma nova técnica desenvolvida recentemente para aves, apresenta um alto potencial de ser uma alternativa um pouco mais viável para suínos. No entanto, muito pouco se sabe sobre a sua eficácia ou o seu impacto no bem-estar de suínos, e ainda não há equipamentos comerciais disponíveis para uso.

20.5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a concessão de bolsa de pesquisa financiada pelo CNPq (que concedeu as bolsas de estudo a Filipe Antonio Dalla Costa e Steffan Edward Octávio Oliveira), MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) pelo apoio aos pesquisadores liderados por Osmar Antonio Dalla Costa na EMBRAPA Suínos e Aves (ver TED 21000.004262 / 2018-51) e a Humane Slaughter Association (pela Special Travel Award concedida ao pesquisador Troy John Gibson). Os autores também expressam a gratidão a Liziè Pereira Buss por seu apoio e contribuição durante esta revisão e projetos sobre métodos de descarte para animais.

20.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANIL, M. H. Effects of slaughter method on carcass and meat characteristics in the meat of cattle and sheep. EBLEX—a Division of the Agriculture and Horticulture Development Board, UK, p. p.73, 2012.
- ANTON, F.; EUCHNER, I.; HANDWERKER, H. O. Psychophysical examination of pain induced by defined CO₂ pulses applied to the nasal mucosa. *Pain*, v. 49, n. 1, p. 53–60, 1992.
- AVMA. 2000: Report of the AVMA Panel on Euthanasia. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, v. 218, n. 5, p. 669, 2001.
- BANZETT, R. B. et al. Stimulus-response characteristics of CO₂-induced air hunger in normal subjects. *Respiration physiology*, v. 103, n. 1, p. 19–31, 1996.
- BANZETT, R. B.; GRACEY, R. H.; LANSING, R. W. When it's hard to breathe, maybe pain doesn't matter. Focus on "Dyspnea as a noxious sensation: inspiratory threshold loading may trigger diffuse noxious inhibitory controls in humans". *Journal of neurophysiology*, v. 97, n. 2, p. 959–960, 2007.
- BEAUSOLEIL, N. J.; MELLOR, D. J. Introducing breathlessness as a significant animal welfare issue. *New Zealand Veterinary Journal*, v. 63, n. 1, p. 44–51, 2015.
- BENSON, E. et al. Foam-based mass emergency depopulation of floor-reared meat-type poultry operations. *Poultry science*, v. 86, n. 2, p. 219–224, 2007.
- BERG, C.; RAJ, M. A review of different stunning methods for poultry—Animal welfare aspects (stunning methods for poultry). *Animals*, v. 5, n. 4, p. 1207–1219, 2015.
- BETZ, P. et al. Homicide with a captive bolt pistol. *The American journal of forensic medicine and pathology*, n. 1, p. 54–57, 1993.
- BLACKMORE, D. K. Energy requirements for the penetration of heads of domestic stock and the development of a multiple projectile. *The Veterinary Record*, v. 116, n. 2, p. 36–40, 1985.
- BLACKMORE, D. K. et al. The use of a shotgun for the emergency slaughter or euthanasia of large mature pigs. *New Zealand Veterinary Journal*, v. 43, n. 4, p. 134–137, 1995.
- BLACKMORE, D. K.; NEWHOOK, J. C. Insensibility during slaughter of pigs in comparison to other domestic stock. *New Zealand Veterinary Journal*, v. 29, n. 12, p. 219–222, 1981.
- BLUMBERGS, P. C. Pathology. In: REILLY, P.; BULLOCK, R. (Eds.). . Head injury. Pathophysiology and management of severe closed injury. London: Chapman and Hall Medical, 1997. p. 39–70.
- BRISTOL, U. OF. Study to investigate non-penetrating percussive blow to the head as a humane killing method for piglets, kids and lambs up to 5 kg. North Somerset: [s.n.].
- BURNETT, B. R. Detection of bone and bone-plus-bullet particles in backscatter from close-range shots to heads. *Journal of Forensic Science*, v. 36, n. 6, p. 1745–1752, 1991.
- BUTTERWORTH, R. F. Metabolic encephalopathies. In: SIEGEL, G. et al. (Eds.). . Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular, and Medical Aspects. Boston: Elsevier, 2006. p. 593–602.
- BUZZARD, B. L. Evaluation of hypobaric hypoxia as a low stress alternative to carbon dioxide euthanasia for use with nursery piglets. [s.l.] Kansas State University, 2012.
- CAIRD, G. et al. Self-inflicted head trauma using a captive bolt pistol: report of three cases. *British journal of neurosurgery*, v. 14, n. 4, p. 349–351, 2000.
- CASEY-TROTT, T. M. et al. Effectiveness of a nonpenetrating captive bolt for euthanasia of piglets less than 3 d of age. *Journal of animal science*, v. 91, n. 11, p. 5477–5484, 2013.
- CASEY-TROTT, T. M. et al. Effectiveness of a nonpenetrating captive bolt for euthanasia of 3 kg to 9 kg pigs. *Journal of animal science*, v. 92, n. 11, p. 5166–5174, 2014.
- CHEN, X. et al. CO₂ stimulation of the cornea: a comparison between human sensation and nerve activity in polymodal nociceptive afferents of the cat. *European Journal of Neuroscience*, v. 7, n. 6, p. 1154–1163, 1995.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA - CFMV. RESOLUÇÃO No 1000, DE 11 DE MAIO DE 2012. Conselho Federal de Medicina Veterinária - CFMV, p. 1-9, 2012.

COUNCIL DIRECTIVE 1099/2009. Council Regularion No 1099/2009 on the protection of animals at the time of killing. Official Journal of the European Union L303, p. 1-30, 2009.

DALLA COSTA, F. A. et al. On-farm pig dispatch methods and stockpeople attitudes on their use. *Livestock Science*, v. 221, n. January, p. 1-5, 2019.

DALMAU, A. et al. Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs. *Anim Welf*, v. 19, p. 325-333, 2010.

DANNEMAN, P. J.; STEIN, S.; WALSHAW, S. O. Humane and practical implications of using carbon dioxide mixed with oxygen for anesthesia or euthanasia of rats. *Laboratory Animal Science*, v. 47, n. 4, p. 376-385, 1997.

DAWSON, M. D. et al. Evaluation of foam-based mass depopulation methodology for floor-reared meat-type poultry operations. *Applied engineering in agriculture*, v. 22, n. 5, p. 787-794, 2006.

DE LA CRUZ, L. et al. The welfare of water buffaloes during the slaughter process: a review. *Livestock Science*, v. 212, p. 22-23, 2018.

DEFRA. Novel and humane gaseous killing methods for pigs. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=12770_MH0128finalreport.pdf>.

DENICOURT, M. et al. Using an electrical approach to euthanize pigs on-farm: fundamental principles to know. Annual Meeting: Implementing Knowledge. *Anais...AASVA -American Association of Swine Veterinarians*, 2010

DRIPPS, R. D.; COMROE, J. H. The respiratory and circulatory response of normal man to inhalation of 7.6 and 10.4 per cent CO₂ with a comparison of the maximal ventilation produced by severe muscular exercise, inhalation of CO₂ and maximal voluntary hyperventilation. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, v. 149, n. 1, p. 43-51, 1947.

ENGLE, T. E.; EDWARDS, L. N. Evaluation and application of humane hypoxia euthanasia for nursery pigs. Des Moines, Iowa: Pork Checkoff Research Review Newsletter, 2010. Disponível em: <<https://www.pork.org/wp-content/uploads/2011/06/09-180-ENGLE-ColoSt.pdf>>.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). "Welfare aspects of animal stunning and killing methods" Scientific Report of the Scientific Panel for Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of animal stunning and killing methods European Food Safety Authority (EFSA), , 2004.

FAROUK, M. M. Advances in the industrial production of halal and kosher red meat. *Meat Science*, v. 95, p. 805-820, 2013.

FENG, Y.; SIMPSON, T. L. Nociceptive sensation and sensitivity evoked from human cornea and conjunctiva stimulated by CO₂. *Investigative ophthalmology & visual science*, v. 44, n. 2, p. 529-532, 2003.

FIEDLER, K. J. et al. Effects of stocking rate on measures of efficacy and welfare during argon gas euthanasia of weaned pigs. *Animal Welfare*, v. 25, n. 1, p. 83-89, 2016.

FINNIE, J. et al. Traumatic axonal injury in lambs: a model for paediatric axonal damage. *Journal of clinical neuroscience*, v. 6, n. 1, p. 38-42, 1999.

FINNIE, J. W. Pathology of experimental traumatic craniocerebral missile injury. *Journal of comparative pathology*, v. 108, n. 1, p. 93-101, 1993.

FINNIE, J. W. et al. Evaluation of brain damage resulting from penetrating and non-penetrating captive bolt stunning using lambs. *Australian veterinary journal*, v. 78, n. 11, p. 775-778, 2000.

FINNIE, J. W. et al. Effect of impact on different regions of the head of lambs. *Journal of comparative pathology*, v. 124, n. 2-3, p. 159-164, 2001.

FINNIE, J. W. et al. Brain damage in pigs produced by impact with a nonpenetrating captive bolt pistol. *Australian veterinary journal*, v. 81, n. 3, p. 153-155, 2003.

FINNIE, J. W. Forensic pathology of traumatic brain injury. *Veterinary pathology*, v. 53, n. 5, p. 962–978, 2016.

FORSLID, A. Transient neocortical, hippocampal and amygdaloid EEG silence induced by one minute inhalation of high concentration CO₂ in swine. *Acta Physiologica*, v. 130, n. 1, p. 1–10, 1987.

GAETZ, M. The neurophysiology of brain injury. *Clinical Neurophysiology*, v. 115, n. 1, p. 4–18, 2004.

GANONG, W. F. Review of medical physiology. Norwalk: Appleton & Lange, 1987.

GIBSON, T. J. et al. Amelioration of electroencephalographic responses to slaughter by non-penetrative captive-bolt stunning after ventral-neck incision in halothane-anaesthetised calves. *New Zealand Veterinary Journal*, v. 57, n. 2, p. 96–101, 2009.

GIBSON, T. J. et al. Preliminary evaluation of the effectiveness of captive-bolt guns as a killing method without exsanguination for horned and unhorned sheep. *Animal Welfare*, v. 21, n. S2, p. 35–42, 2012.

GIBSON, T. J. et al. Factors affecting penetrating captive bolt gun performance. *Journal of applied animal welfare science*, v. 18, n. 3, p. 222–238, 2015a.

GIBSON, T. J. et al. Pathophysiology of penetrating captive bolt stunning in Alpacas (*Vicugna pacos*). *Meat science*, v. 100, p. 227–231, 2015b.

GIBSON, T. J. et al. Pathophysiology of free-bullet slaughter of horses and ponies. *Meat science*, v. 108, p. 120–124, 2015c.

GIBSON, T. J. et al. Electroencephalographic assessment of concussive non-penetrative captive bolt stunning of turkeys. *British poultry science*, v. 59, n. 1, p. 13–20, 2018.

GIBSON, T. J. et al. Electroencephalographic assessment of pneumatically powered penetrating and non-penetrating captive-bolt stunning of bulls. *Meat Science*, v. 151, n. January, p. 54–59, 2019.

GNJIDIĆ, Z. et al. Epidemiological, forensic, clinical, and imaging characteristics of head injuries acquired in the suicide attempt with captive bolt gun. *Acta neurochirurgica*, v. 144, n. 12, p. 1271–1277, 2002.

GRAHAM, D. I.; GENNARELLI, T. A. Trauma. In: GRAHAM, D. I.; LANTOS, P. L. (Eds.). *Greenfield's neuropathology*. 6th. ed. London: [s.n.]. p. 197–262.

GRANDIN, T. Mechanical, electrical and anesthetic stunning methods for livestock. 1980.

GRANDIN, T. Euthanasia and slaughter of livestock. *JOURNAL-AMERICAN VETERINARY MEDICAL ASSOCIATION*, v. 204, p. 1354, 1994.

GRANDIN, T. Return-to-sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, v. 221, n. 9, p. 1258–1261, 2002.

GREGORY, N. G.; LEE, C. J.; WIDDICOMBE, J. P. Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. *Meat Science*, v. 77, n. 4, p. 499–503, 2007.

GREGORY, N.; SHAW, F. Penetrating captive bolt stunning and exsanguination of cattle in abattoirs. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, v. 3, n. 3, p. 215–230, 2000.

GRELLNER, W.; BUHMANN, D.; WILSKE, J. Suicide by double bolt gunshot wound to the head: case report and review of the literature. *Archiv Fur Kriminologie*, v. 205, n. 5–6, p. 162–168, 2000.

GRIST, A. et al. Humane euthanasia of neonates I: validation of the effectiveness of the Zephyr EXL non-penetrating captive-bolt euthanasia system on neonate piglets up to 10.9 kg live-weight. *Animal Welfare*, v. 26, n. 1, p. 111–120, 2017.

GURUNG, S. et al. Carbon Dioxide and Nitrogen Infused Compressed Air Foam for Depopulation of Caged Laying Hens. *Animals*, v. 8, n. 1, p. 6, 2018a.

GURUNG, S. et al. Depopulation of Caged Layer Hens with a Compressed Air Foam System. *Animals*, v. 8, n. 1, p. 11, 2018b.

HOENDERKEN, R. Electrical stunning of pigs for slaughter. [s.l.] Université d'Utrecht, 1978.

- JANSSEN, W.; STIEGER, W. Verletzungen durch Bolzenschuß-Apparate unter besonderer Berücksichtigung der Spurenmerkmale. *Arch Kriminol*, v. 134, p. 26–37, 1964.
- KATTIMANI, R. P.; SHETTY, S.; MIRZA, H. Accidental Bolt Gun Injury to Femur-A Case Report. *Journal of Orthopaedic Case Reports*, v. 6, n. 4, p. 6, 2016.
- KLABUNDE, R. E. *Cardiovascular Physiology Concepts*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
- LAMBOOIJ, E. et al. Behavioural responses during exposure of broiler chickens to different gas mixtures. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 62, n. 2, p. 255–265, 1999.
- LEACH, M. C. et al. Aversion to gaseous euthanasia agents in rats and mice. *Comparative medicine*, v. 52, n. 3, p. 249–257, 2002.
- LEACH, M. C. et al. Measurement of aversion to determine humane methods of anaesthesia and euthanasia. *ANIMAL WELFARE*, v. 13, p. S77–S86, 2004.
- LIOTTI, M. et al. Brain responses associated with consciousness of breathlessness (air hunger). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 98, n. 4, p. 2035–2040, 2001.
- LLONCH, P. et al. Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs. *Animal Welfare*, v. 21, n. 1, p. 33–39, 2012.
- MARAHRENS, M. et al. Stunning of slaughter pigs and non-viable piglets with nitrogen gas filled high expansive foam - first results of a proof of concept. *Welfare Impacts of Controlled Atmosphere Methods for Stunning or Killing Animals. Anais...Addlestone: UFAW and HSA, 2017*
- MARTIN, J. E. et al. LOW ATMOSPHERIC PRESSURE STUNNING IN BROILERS: TEMPERATURE AND ILLUMINATION EFFECTS. *Welfare impacts of controlled atmosphere methods for stunning or killing animals. UFAW and HSA Meeting 2017. Anais...Southern England, UK: 2017*
- MARTOFT, L. et al. CO₂ induced acute respiratory acidosis and brain tissue intracellular pH: a ³¹P NMR study in swine. *Laboratory animals*, v. 37, n. 3, p. 241–248, 2003.
- MATTHIS, J. S. Selected employee attributes and perceptions regarding methods and animal welfare concerns associated with swine euthanasia. [s.l.] North Carolina State University, 2004.
- MCKEEGAN, D. E. F. et al. Physiological and behavioral responses of poultry exposed to gas-filled high expansion foam. *Poultry science*, v. 92, n. 5, p. 1145–1154, 2013.
- MCKEEGAN, D. E. F.; SANDERCOCK, D. A.; GERRITZEN, M. A. Physiological responses to low atmospheric pressure stunning and the implications for welfare. *Poultry science*, v. 92, n. 4, p. 858–868, 2013.
- MILLAR, G. I.; MILLS, D. S. Observations on the trajectory of the bullet in 15 horses euthanased by free bullet. *The Veterinary Record*, v. 146, n. 26, p. 754–757, 2000.
- MORES, M. A. Z.; MORES, N. Orientações para eutanásia de suínos em granjas pelo método de eletrocussão. *Embrapa Suínos e Aves-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2014., 2014.*
- NATIONAL PORK BOARD. On farm euthanasia of swine: Recommendations for the producer. *Des Moines, IAPub.04259-01/09, 2009.*
- OLIVEIRA, S. E. O. et al. Efficiency of low versus high airline pressure in stunning cattle with a pneumatically powered penetrating captive bolt gun. *Meat Science*, v. 130, 2017.
- OLIVEIRA, S. E. O. et al. Effectiveness of pneumatically powered penetrating and non-penetrating captive bolts in stunning cattle. *Meat Science*, v. 140, p. 9–13, fev. 2018.
- OMMAYA, A. K.; GOLDSMITH, W.; THIBAUT, L. Biomechanics and neuropathology of adult and paediatric head injury. *British journal of neurosurgery*, v. 16, n. 3, p. 220–242, 2002.
- PEARIGEN, P.; GWINN, R.; SIMON, R. P. The effects in vivo of hypoxia on brain injury. *Brain research*, v. 725, n. 2, p. 184–191, 1996.
- PURSWELL, J. L.; THAXTON, J. P.; BRANTON, S. L. Identifying process variables for a low atmospheric pressure stunning-killing system. *Journal of applied poultry research*, v. 16, n. 4, p. 509–513, 2007.

- RAJ, A. B. M. et al. Welfare implications of gas stunning pigs: 3. the time to loss of somatosensory evoked potential and spontaneous electrocorticogram of pigs during exposure to gases. *The veterinary journal*, v. 153, n. 3, p. 329–339, 1997.
- RAJ, A. B. M. Changes in the somatosensory evoked potentials and spontaneous electroencephalogram of broiler chickens during exposure to gas mixtures. *British Poultry Science*, v. 39, n. 5, p. 686–695, 1998.
- RAJ, A. B. M. Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications. *The Veterinary Record*, v. 144, p. 165–168, 1999.
- RAJ, M. Humane killing of nonhuman animals for disease control purposes. *Journal of applied animal welfare science*, v. 11, n. 2, p. 112–124, 2008a.
- RAJ, M. A. B. Welfare of pigs during stunning and slaughter. In: FAUCITANO, L.; SCHAEFER, A. L. (Eds.). *The welfare of pigs: From birth to slaughter*. 1. ed. The Netherlands: [s.n.]. p. 225–240. 2008.
- RAULT, J.-L. et al. Gas alternatives to carbon dioxide for euthanasia: a piglet perspective. *Journal of animal science*, v. 91, n. 4, p. 1874–1883, 2013.
- RAULT, J.-L. et al. Nitrous oxide as a humane method for piglet euthanasia: Behavior and electroencephalography (EEG). *Physiology & behavior*, v. 151, p. 29–37, 2015.
- RING, C. et al. CO₂ Anesthesia for slaughter pigs. *Fleischwirtschaft*, v. 68, n. 11, p. 1478–1484, 1988.
- SADLER, L. J. et al. Comparison of CO₂ versus mixed CO₂: Argon Gas at Different Flow Rates Using the Smart Box Euthanasia Device as an Effective Method of Piglet Euthanasia. *Animal Industry Report*, v. 659, n. 1, p. 76, 2013.
- SADLER, L. J. et al. Effects of flow rate and gas mixture on the welfare of weaned and neonate pigs during gas euthanasia. *Journal of animal science*, v. 92, n. 2, p. 793–805, 2014.
- SANDERCOCK, D. A. et al. Avian reflex and electroencephalogram responses in different states of consciousness. *Physiology & behavior*, v. 133, p. 252–259, 2014.
- SCHIFFER, K. J. et al. Assessment of key parameters for gunshot used on cattle: a pilot study on shot placement and effects of diverse ammunition on isolated cattle heads. *Animal Welfare*, v. 23, n. 4, p. 479–489, 2014.
- SHARP, T. M. et al. Evaluation of a spring-powered captive bolt gun for killing kangaroo pouch young. *Wildlife Research*, v. 41, n. 7, p. 623–632, 2015.
- SHAW, N. A. The neurophysiology of concussion. *Progress in neurobiology*, v. 67, n. 4, p. 281–344, 2002.
- SIMIC, M. et al. The Characteristics of Head Wounds Inflicted by "Humane Killer"(Captive-Bolt Gun)—A 15-Year Study. *Journal of forensic sciences*, v. 52, n. 5, p. 1182–1185, 2007.
- SMITH, D. C. Methods of euthanasia and disposal of laboratory animals. In: GAY, W. I. (Ed.). *Methods of animal experimentation*. 1. ed. New York: Academic Press, 1965. p. 167–195.
- SVENDSEN, O. et al. Observations on newborn calves rendered unconscious with a captive bolt gun. *The Veterinary record*, v. 162, n. 3, p. 90, 2008.
- THOMSON, D. U. et al. Computed tomographic evaluation to determine efficacy of euthanasia of yearling feedlot cattle by use of various firearm-ammunition combinations. *American journal of veterinary research*, v. 74, n. 11, p. 1385–1391, 2013.
- THORNER, P. M.; RUBIRA, R. J.; STYLES, D. K. Humane killing of animals for disease control purposes. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, v. 33, n. 1, p. 303–310, 2014.
- THÜRAUF, N. et al. Sensitivity of the negative mucosal potential to the trigeminal target stimulus CO₂. *Brain research*, v. 942, n. 1–2, p. 79–86, 2002.
- TORDRUP, P. J.; KJELDSEN, S. R. Accidental injuries from captive-bolt guns (slaughterer's gun). *Injury*, v. 25, n. 8, p. 497–499, 28 dez. 2017.
- VAN LIERE, E. J. Anoxia. Its Effect On The Body. *The American Journal of the Medical Sciences*, v. 205, n. 3, p. 433, 1943.

- VELARDE, A.; RAJ, M. Gas stunning and killing methods. In: VELARDE, A.; RAJ, M. (Eds.). . Animal welfare at slaughter. 1. ed. Sheffield: 5m publishing, 2016. p. 133–151.
- VERHOEVEN, M. et al. Time to loss of consciousness and its relation to Behavior in slaughter Pigs during stunning with 80 or 95% carbon Dioxide. *Frontiers in veterinary science*, v. 3, 2016.
- VIEL, G. et al. Planned complex suicide by penetrating captive-bolt gunshot and hanging: case study and review of the literature. *Forensic science international*, v. 187, n. 1–3, p. e7–e11, 2009.
- VIOLA, L. et al. Suicide with a Butcher's Bolt. *Journal of Forensic Science*, v. 49, n. 3, p. JFS2003024-3, 2004.
- VIZZIER-THAXTON, Y. et al. A new humane method of stunning broilers using low atmospheric pressure. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 19, n. 4, p. 341–348, 2010.
- WALSH, J. L.; PERCIVAL, A.; TURNER, P. V. Efficacy of blunt force trauma, a novel mechanical cervical dislocation device, and a non-penetrating captive bolt device for on-farm euthanasia of pre-weaned kits, growers, and adult commercial meat rabbits. *Animals*, v. 7, n. 12, p. 100, 2017.
- WHITING, T. L. et al. Evaluation of methods of rapid mass killing of segregated early weaned piglets. *The Canadian Veterinary Journal*, v. 52, n. 7, p. 753–758, 2011.
- WIDOWSKI, T.; ELGIE, R.; LAWLIS, P. Assessing the effectiveness of a non-penetrating captive bolt for euthanasia of newborn piglets. 2008.
- WOODS, J.; SHEARER, J. K.; HILL, J. Recommended On-farm Euthanasia Practices. In: GRANDIN, T. (Ed.). . *Improving Animal Welfare: A Practical Approach*. 2nd. ed. Wallingford: CABI, 2010. p. 186–2013.
- WOTTON, S. B. New advances in stunning techniques for slaughter animals. *Meat Focus International*, v. 12, p. 461–465, 1996.
- YOUNG, R. J.; DESTIAN, S. Imaging of traumatic intracranial hemorrhage. *Neuroimaging Clinics*, v. 12, n. 2, p. 189–204, 2002.