



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Zootécnica

Dissertação

**Condicionamento ambiental em suínos na fase de
crescimento e engorda**

José Carlos Silva Rico

Orientador(es) | Vasco Manuel Fitas da Cruz
Rui Miguel Carracha Charneca

Évora 2019



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Zootécnica

Dissertação

**Condicionamento ambiental em suínos na fase de
crescimento e engorda**

José Carlos Silva Rico

Orientador(es) | Vasco Manuel Fitas da Cruz
Rui Miguel Carracha Charneca

Évora 2019



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Fernando Paulo de Sousa e Sá Correia Marques (Universidade de Évora)

Vogais | Alfredo Manuel Franco Pereira (Universidade de Évora) (Arguente)
Vasco Manuel Fitas da Cruz (Universidade de Évora) (Orientador)

***“Trabalha Homem trabalha,
se queres ter o teu valor.
Os calos são os anéis,
do Homem trabalhador.”***
In “É tão grande o Alentejo”

Para os meus pais

ÍNDICE DE MATÉRIAS

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE QUADROS	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
GLOSSÁRIO DE TERMOS ABREVIADOS.....	ix
AGRADECIMENTOS	x
RESUMO.....	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS INTERIORES.....	4
2.1.1 Temperatura do ar.....	4
2.1.2 Humidade relativa.....	6
2.1.3 Velocidade do ar.....	7
2.1.4 Luminosidade e nível de ruído	7
2.1.5 Qualidade do ar.....	8
2.2 EFEITO DA TEMPERATURA NAS PERFORMANCES PRODUTIVAS DE SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO E ENGORDA.....	9
2.3 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO.....	13
2.4 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO	15
2.4.1 Ventilação.....	15
2.4.1.1 Funções e importância da ventilação	16
a) Controlo da temperatura	17
b) Controlo da humidade relativa	17
c) Controlo da concentração de gases e poeiras	18
2.4.1.2 Diferentes tipos de ventilação	18
2.4.2 Aquecimento.....	20
2.4.2.1 Funções e importância do aquecimento	20
2.4.2.2 Diferentes tipos de aquecimento	21
2.4.3 Arrefecimento.....	22
2.4.3.1 Funções e importância do arrefecimento	22
2.4.3.2 Diferentes tipos de arrefecimento	23
2.5 SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO	24
2.5.1 Sensores utilizados na zootecnia de precisão	25

2.5.1.1	Medições ambientais	25
a)	Temperatura ambiente	25
b)	Humidade.....	26
c)	Radiação	27
d)	Concentração de gases.....	28
e)	Velocidade do ar.....	29
2.5.1.2	Medições fisiológicas.....	29
a)	Temperatura da superfície corporal.....	30
b)	Taxa de respiração	30
c)	Variação de peso corporal	31
2.5.1.3	Medições comportamentais.....	32
a)	Alimentação e consumo de água	33
b)	Comportamento animal, presença e atividade	34
c)	Índice de ocupação de espaço.....	35
2.5.2	Sistemas de controlo, alerta e atuação	36
2.6	CONCLUSÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....	38
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.2	ANIMAIS	41
3.2.1	Caracterização dos animais	41
3.2.2	Procedimentos iniciais.....	41
3.2.3	Condições ambientais simuladas.....	43
3.2.4	Alimentação.....	43
3.3	RECOLHA DE DADOS.....	45
3.3.1	Medições de dados produtivos	45
3.3.2	Medições de dados do microclima interior.....	46
3.4	PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO	48
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	50
4.1	CONDIÇÕES AMBIENTAIS	50
4.2	PARÂMETROS PRODUTIVOS	51
4.2.1	Ensaio 1	52
4.2.1.1	Ingestão alimentar	53
4.2.1.2	Ganho médio diário.....	54
4.2.1.3	Índice de conversão alimentar.....	54
4.2.2	Ensaio 2	55
4.2.2.1	Ingestão alimentar	55

4.2.2.2	Ganho médio diário.....	56
4.2.2.3	Índice de conversão alimentar.....	56
4.2.3	Média dos 2 ensaios.....	57
4.2.3.1	Ingestão alimentar.....	58
4.2.3.2	Ganho médio diário.....	58
4.2.3.3	Índice de conversão alimentar.....	59
5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	60
5.1	CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	60
5.2	PARÂMETROS PRODUTIVOS.....	60
5.2.1	Ingestão alimentar.....	60
5.2.2	Ganho médio diário.....	63
5.2.3	Índice de conversão alimentar.....	69
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
	BIBLIOGRAFIA.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Índice de Temperatura-Humidade (THI) para suínos (Fonte: The Pig Site, 2002).....	14
Figura 2 - Exemplos de sistemas de ventilação natural (Fonte: Material didático – ERU10432).....	19
Figura 3 - A: sistema de ventilação mecânica por pressão; B: sistema de ventilação mecânica por extração (Fonte: Material didático – ERU10432)	19
Figura 4 - A: extratores verticais; B: ventiladores transversais (Fonte: Material didático – ERU10432).....	20
Figura 5 - Sistema de aquecimento por convecção através de gás (Fonte: Elaboração própria)	21
Figura 6 - Sistema de aquecimento do pavimento (Fonte: Elaboração própria) ...	22
Figura 7 - Painéis de evaporação (Fonte: Material didático – ERU10432).....	23
Figura 8 – Sistema nebulização (Fonte: http://www.agriexpo.online/pt/).....	24
Figura 9 - Sensores de temperatura (Fonte: Elaboração própria)	26
Figura 10 - Sensor de humidade relativa (Fonte: Elaboração própria).....	26
Figura 11 - Luxímetro (Fonte: Elaboração própria)	27
Figura 12 - Caixa sensorial para a medição da concentração de gases (Fonte: Elaboração própria)	28
Figura 13 - A: anemómetro de hélice; B: anemómetro de fio quente (Fonte: Elaboração própria)	29
Figura 14 - Análise termográfica através de câmara térmica (Fonte: <i>Software Optris</i>).....	30
Figura 15 - Células de carga das máquinas de alimentação automática (Fonte: Elaboração própria)	32
Figura 16 - Registo do consumo alimentar (Fonte: <i>Software schauer compident MLP II</i>).....	33

Figura 17 - Análise de vídeo através de câmaras de vídeo (Fonte: Elaboração própria)	35
Figura 18 - Índice de proximidade (Fonte: Software GRID).....	36
Figura 19 - Visão geral esquemática dos principais componentes do controlo ambiental da zootecnia de precisão (adaptado de: Aerts <i>et al.</i> , 2003, Vansteelant <i>et al.</i> , 1988 citados por Fournel <i>et al.</i> , 2017; Wathes <i>et al.</i> , 2008).....	38
Figura 20 - Planta da sala de ambiente controlado	39
Figura 21 - Sala de ambiente controlado da Mitra (Fonte: elaboração própria)....	40
Figura 22 - Sistema de identificação através de brinco eletrónico (Fonte: Elaboração própria)	42
Figura 23 - Animais identificados através de marcador <i>spray</i> (Fonte: Elaboração própria)	42
Figura 24 - Bebedouro de taça com tetina (Fonte: Elaboração própria).....	45
Figura 25 - Máquina de alimentação <i>schauer compident MLP II</i> (Fonte: elaboração própria).....	46
Figura 26 - Distribuição espacial do <i>Arduino</i> e sensores (Fonte: Elaboração própria)	47
Figura 27 - Sistema operativo do <i>Webisense</i> (Fonte: Elaboração própria).....	47
Figura 28 - Evolução da ingestão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 1).....	61
Figura 29 - Evolução da ingestão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 2).....	62
Figura 30 - Evolução da ingestão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno em ambos os ensaios	63
Figura 31 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de termoneutralidade (Ensaio 2).....	64
Figura 32 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de termoneutralidade (Ensaio 1).....	65

Figura 33 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 1)	66
Figura 34 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 1).....	67
Figura 35 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 2)	68
Figura 36 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 2).....	69
Figura 37 - Evolução do índice de conversão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 1)	70
Figura 38 - Evolução do índice de conversão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 2)	71
Figura 39 - Evolução do índice de conversão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 2).....	73
Figura 40 - Evolução do índice de conversão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 2)	74

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Condições ambientais registradas no Ensaio 1	50
Quadro 2 - Condições ambientais registradas no Ensaio 2	50
Quadro 3 - Valores médios de peso vivo inicial e final em cada situação	52
Quadro 4 - Valores médios + desvio padrão dos parâmetros produtivos obtidos no Ensaio 1 e 2.....	52
Quadro 5 - Influência das condições ambientais sobre as performances dos suínos no Ensaio 1	53
Quadro 6 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos (com o peso corrigido) no Ensaio 1	53
Quadro 7 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos no Ensaio 2	55
Quadro 8 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos (com o peso corrigido) no Ensaio 2	55
Quadro 9 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos nos 2 ensaios.....	57
Quadro 10 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos (com o peso corrigido) nos 2 ensaios	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Dados sobre o efeito da temperatura ambiente sobre as performances de suínos em crescimento e engorda	11
Tabela 2 - Limites de conforto térmico para suínos de acordo com o índice THI; Fonte: de Oliveira Júnior et al. (2018).....	14
Tabela 3 - Lista de material utilizado para recolha de dados.....	41
Tabela 4 - Procedimento experimental da experiência	43
Tabela 5 - Quantidade de Kg de alimento colocado à disposição dos animais em função do seu peso vivo.....	44

GLOSSÁRIO DE TERMOS ABREVIADOS

GMD -	ganho médio diário de peso vivo (kg/dia)
HR -	humidade relativa
HR _i -	humidade relativa interior
HR _o -	humidade relativa exterior
IA -	ingestão alimentar (kg/dia)
IC -	índice de conversão alimentar (kg/kg)
INV -	inverno
ppm -	partes por milhão
PV -	peso vivo (kg)
RFID -	identificação por radiofrequência
t _{ci} -	temperatura crítica inferior (°C)
t _{cs} -	temperatura crítica inferior (°C)
THI -	índice de temperatura-humidade
t _i -	temperatura interior (°C)
TNZ -	zona de neutralidade térmica
t _o -	temperatura exterior (°C)
VER -	verão
ΔT -	variação de temperatura (°C)
μm -	micrómetro

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças à colaboração de várias pessoas às quais expresso a minha sincera gratidão.

Ao Professor Doutor Vasco Manuel Fitas da Cruz, professor do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, endereço um reconhecimento muito especial pelo facto de ter aceite a orientação dos trabalhos e pela oportunidade que me proporcionou de trabalhar junto dele no Projeto AWARTECH e, com isto, embeber muito do seu conhecimento. Ao longo da realização deste trabalho a sua disponibilidade, os seus conselhos, o seu empenho e os seus ensinamentos foram fundamentais e insuperáveis.

Ao Professor Doutor Rui Miguel Carracha Charneca, professor do Departamento de Medicina Veterinária da Universidade de Évora, o meu sentido agradecimento pela aceitação da coorientação dos trabalhos mostrando sempre uma disponibilidade e empenho que foram essenciais para que estes atingissem um bom termo.

À Professora Doutora Fátima de Jesus Folgôa Baptista, professora do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, o meu profundo agradecimento pela disponibilidade e amabilidade com que sempre se prontificou a me auxiliar ao longo dos trabalhos.

A todos os colegas do Projeto AWARTECH, uma palavra de agradecimento pela preciosa ajuda prestada. Neste agradecimento gostaria de realçar a forma desinteressada, amiga e empenhada com que os colegas Catarina Martins e David Botas colaboraram na realização dos trabalhos e dirigir uma palavra de especial apreço à colega Teresa Morgado pelo apoio que me deu na análise estatística.

Ao Dr. Diogo de Rezende Coelho, consultor internacional do Projeto AWARTECH, quero agradecer pela colaboração prestada ao nível da execução do grafismo apresentado na dissertação.

Aos meus pais e avós, uma palavra de gratidão por tudo aquilo que me proporcionaram para que conseguisse atingir este objetivo.

A todas as pessoas que desinteressadamente colaboraram na execução deste estudo quero deixar o meu profundo agradecimento.

RESUMO

No âmbito do Projeto AWARTECH efetuaram-se dois ensaios com o objetivo de perceber como se monitorizam os parâmetros ambientais e analisar a sua importância na produção e bem-estar animal de suínos em fase de crescimento e engorda. Utilizaram-se 14 fêmeas (7 por ensaio), que foram sujeitas a três ambientes térmicos: inverno (INV), termoneutralidade (TNZ) e verão (VER).

Nos dois ensaios, as condições ambientais influenciaram significativamente ($p < 0,001$) a ingestão alimentar (IA), tendo esta sido superior no inverno. Este efeito não foi verificado ($p \geq 0,05$) sobre o ganho médio diário (GMD), embora se tenham registado diferenças numéricas nas taxas de crescimento. No ensaio 1, o menor índice de conversão alimentar (IC) verificou-se no verão ($p < 0,05$). No ensaio 2, o IC foi menor ($p < 0,05$) na termoneutralidade.

Estes resultados evidenciam a importância que o ambiente térmico exerce sobre as performances de suínos, e fornecem informação acerca das adaptações comportamentais dos animais às variações térmicas.

Palavras-chave: Zootecnia de precisão, Controlo ambiental, Monitorização, Suínos, Crescimento e Engorda

“ENVIRONMENTAL CONTROL FOR GROWING-FINISHING PIGS”

SUMMARY

Two trials were carried out within the AWARTECH project with the objective to understand how environmental parameters are monitored and to analyse their importance in the welfare and production of growing-finishing pigs. Fourteen gilts were used (7 per trial) and were exposed to three types of environmental conditions: winter (W), thermoneutrality (TN) and summer (S).

In the two trials, environmental conditions significantly influenced ($p < 0.001$) the feed intake (FI), which was higher in W. This effect wasn't observed ($p \geq 0.05$) in average daily gain (ADG), although there were numerical differences in growth rates. In trial 1, the lowest feed conversion ratio (FCR) was observed in S ($p < 0.05$). In trial 2, FCR was lower ($p < 0.05$) in TN.

These results show the importance of the thermal environment on the performance of pigs and provide information about the behavioural adaptations of the animals to the thermal variations.

Keywords: Precision livestock farming, Environmental control, monitoring, swine, growing-finishing phase

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação pública com as questões relacionadas com a cadeia agroalimentar obriga, cada vez mais que os produtores adotem boas práticas de produção, tendo como principal objetivo a sustentabilidade do sistema de produção através da segurança dos produtos, da preservação ambiental e do bem-estar dos animais e de todos os intervenientes no processo.

As condições ambientais a que os animais são sujeitos ao longo do seu processo produtivo podem causar grande impacto no bem-estar animal, podendo levar a dificuldades na manutenção do balanço térmico, na expressão de comportamentos naturais e influenciar significativamente as performances produtivas e reprodutivas. Este impacto é verificado com maior evidência em algumas espécies, nomeadamente os suínos e as aves, geralmente produzidos em sistemas intensivos, caracterizados por uma elevada densidade animal.

Nas instalações para suínos, os animais encontram-se muitas vezes sujeitos a um ambiente onde os parâmetros climáticos excedem os limites para a manutenção do seu bem-estar. Neste sentido, as instalações pecuárias e os seus equipamentos devem proteger os animais de condições ambientais externas adversas, proporcionando níveis apropriados de ventilação, temperatura, humidade e concentração de gases.

Para que as condições ambientais pretendidas sejam atingidas, as instalações devem possuir sistemas de monitorização e controlo. No entanto, surge a necessidade de que a pecuária moderna não se limite apenas à monitorização dos parâmetros ambientais, mas também do comportamento e estado sanitário dos animais (Fournel *et al.*, 2017).

Surge deste modo o termo de Zootecnia de Precisão, que se define como a aplicação dos princípios tecnológicos e processos de engenharia na gestão pecuária. Esta ferramenta utiliza diferentes tecnologias que tendem a demonstrar a resposta dos animais ao ambiente que os rodeia, o que permite melhorar o seu bem-estar e aumentar os resultados produtivos.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de perceber como se monitorizam os parâmetros ambientais e analisar a sua importância na produção e bem-estar de suínos. Para isso, dois grupos de 7 fêmeas em fase de crescimento e engorda foram sujeitos a três tipos de condições ambientais: inverno (INV), termoneutralidade (TNZ) e verão (VER).

A recolha de dados incidiu sobre parâmetros ambientais, tais como a temperatura e humidade relativa, e sobre informações acerca dos animais, como a ingestão alimentar e o

ganho de peso vivo. Através dos dados recolhidos em cada condição ambiental, procurou-se estudar a influência das condições ambientais sobre a performance produtiva dos animais.

Neste sentido, foi um ponto de situação acerca dos conhecimentos sobre estes temas através de uma revisão bibliográfica, tendo sido, posteriormente, efetuado um trabalho experimental com o objetivo anteriormente referido. No final deste trabalho foi feita uma discussão dos resultados obtidos e retiradas algumas conclusões sobre o papel dos sistemas de condicionamento ambiental e do ambiente térmico das instalações pecuárias nas performances produtivas de suínos em fase de crescimento e engorda.

Este trabalho de dissertação resulta do Projeto AWARTECH (Animal Welfare Adjusted Real Time Environmental Conditions of Housing – Ajustamento em tempo real das condições ambientais de alojamento tendo em conta o bem-estar animal), iniciado em setembro de 2016 com o apoio financeiro da UE através do programa Portugal2020, cujo principal objetivo é criar e desenvolver uma ferramenta inovadora de zootecnia de precisão que controle e monitorize, em tempo real, as condições ambientais e de bem-estar animal que levem à sustentabilidade económica e produtiva das explorações pecuárias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS INTERIORES

Os fatores ambientais, tais como a temperatura, humidade relativa, velocidade do ar e concentração de gases possuem uma elevada influência sobre os animais, com impacto no seu *status* comportamental, fisiológico e imunológico (Cruz, 1997).

O porco na fase de crescimento e engorda apresenta, a par das suas necessidades de índole nutricional e sanitárias, requisitos de modo a que a sua produtividade seja maximizada, tendo a engenharia e o controle do ambiente, como objetivo, a realização das condições ambientais requisitadas (Cruz, 1997; Babot e Revuelta, 2009).

2.1.1 Temperatura do ar

De acordo com Cruz e Baptista (2006), os animais são uma constante fonte de calor sensível e latente, contribuindo para a alteração do valor da temperatura interior de uma instalação.

O suíno, como ser homeotérmico que é, mantém a sua temperatura interna dentro de limites estreitos para variações de temperatura ambiente (Cossins e Bowler, 1987). De acordo com estes autores, esta manutenção da temperatura corporal é permitida através da termorregulação: mecanismo responsável por assegurar o equilíbrio dinâmico entre o calor produzido pelo organismo (termogénese) e cedido ao meio ambiente (termólise).

O intervalo de temperaturas ambientais onde o animal é capaz de manter a sua temperatura corporal, independentemente da temperatura ambiente, é designada por zona de homeotermia (Babot e Revuelta, 2009). Temperaturas acima ou abaixo dos seus limites causam situações de hipertermia ou de hipotermia, respetivamente.

Dentro da zona homeotérmica existe a zona de termoneutralidade (TNZ) (Babot e Revuelta, 2009). Esta zona define-se como a zona de temperaturas ambientais onde, para um determinado nível alimentar, a produção de calor é mínima, constante e independente da temperatura do ar, ou seja, é o intervalo de temperaturas em que o calor produzido pelo animal é mínimo (Babot e Revuelta, 2009; Cruz, 1997; Hillman, 2009). A TNZ apresenta como limites a temperatura crítica inferior (tci) e a temperatura crítica superior (tcs).

De acordo com Cruz e Baptista (2006), para uma determinada espécie, a definição das temperaturas críticas e, conseqüentemente, da zona de termoneutralidade é função da conjugação de diversos fatores, tais como: a raça, o sexo, o peso corporal, a densidade animal, o nível energético da alimentação, a velocidade do ar sobre o animal, o tipo de pavimento e as condições ambientais exteriores.

Quando o limite inferior da TNZ (tci) é ultrapassado, os mecanismos que regulam as perdas de calor também o são, pelo que a homeotermia é mantida através do aumento da produção de calor (Holmes e Close, 1977; Verstegen *et al.*, 1978 e Close, 1981 citados por Cruz, 1997). Por outro lado, quando o limite superior (tcs) é ultrapassado, resultante do aumento da temperatura ambiente, verifica-se um acréscimo de produção de calor (Close, 1981 citado por Cruz, 1997). Neste sentido, segundo Cruz (1997), dentro da TNZ a toda a variação da temperatura ambiente corresponde, também, um ajustamento no equilíbrio termogénese-termólise.

De acordo com Cruz (1997), a produção de calor resulta para além de reações bioquímicas, da atividade voluntária dos animais (locomoção, alimentação, etc) que origina despesas energéticas provenientes do trabalho muscular. Por outro lado, as condições climáticas possuem também uma elevada influência na produção de calor pelo animal, o qual é resultante dos processos metabólicos associados à manutenção e utilização dos alimentos (Henken *et al.*, 1993).

As perdas de calor processam-se por duas vias: via sensível e via latente, sendo estas aditivas (Cossins e Bowler, 1987). Neste sentido, as perdas totais de calor resultam da sua soma.

Os mecanismos de transferência de calor sensível recorrem a três processos: condução, convecção e radiação. De acordo com Stone e Heap (1982), estes seguem as leis normais da física, ou seja, há um fluxo neto da zona de maior energia cinética para a zona de menor energia cinética. Como as perdas de calor sensível dependem em grande parte do gradiente de temperatura entre a superfície do animal e o ambiente, à medida que ambas se aproximam, por aumento da temperatura ambiente, o fluxo de calor sensível vai diminuindo. Assim, de modo a manter a temperatura corporal, o animal vê-se limitado à utilização da via latente para aumentar as suas perdas de calor (Cruz, 1997).

Segundo Meneses (1985), as trocas de calor latente classificam-se em cutâneas (ocorrem ao nível da pele) e respiratórias (ocorrem ao nível do trato respiratório).

No entanto, de acordo com Cruz (1997), como o suíno não possui glândulas sudoríparas funcionais, recorre a dois processos básicos para a libertação de calor por via cutânea: a perspiração, ou passagem de água através da pele, e a evaporação de água proveniente dos dejetos líquidos ou de outra existente sobre os pavimentos em que se deitam. Devido à espessa camada de gordura subcutânea, o porco em situações de altas temperaturas é das espécies animais com menores perdas de água através da pele (Ingram, 1965), pelo que o segundo processo referido torna-se dominante nestas condições de temperaturas (Meneses, 1985).

As perdas de calor por via respiratória ocorrem porque o ar ao ser inalado vai aquecendo e absorvendo vapor de água, o qual é libertado através das mucosas que, ao ser expirado, sai com maior quantidade de vapor de água e maior temperatura do que o ar inspirado. Este tipo de perdas de calor depende de diversos fatores, tais como o ritmo respiratório, o volume de ar inspirado e a humidade do ar (Stones e Heap, 1982).

Visto que aquilo que se procura para os alojamentos é a situação de equilíbrio térmico, existem diferentes estudos que recomendam temperaturas situadas entre 15 e 25°C (dentro da zona de termoneutralidade) como o intervalo de temperaturas ambientais onde o suíno, em fase de crescimento e engorda, pode maximizar, de forma geral, as suas performances zootécnicas (Babot e Revuelta, 2009; Morrow-Tesch *et al.*, 1994).

2.1.2 Humidade relativa

De acordo com Albright (1990), a humidade relativa refere-se à relação entre a humidade absoluta do ar e a humidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura, obtida em percentagem. Este valor define o estado de secura do ar.

Trata-se de um parâmetro climático importante, uma vez que a concentração de humidade a níveis elevados é prejudicial para a saúde e conforto dos animais alojados, tal como dos intervenientes no processo de produção e que estão em regular contacto com as instalações, na medida em que favorece o desenvolvimento de microrganismos nas superfícies das construções que podem aumentar a frequência e severidade de doenças, tais como o reumatismo (Baêta e Souza, 2010)

De um modo geral, o teor de humidade deve ser mantido a níveis inferiores dos limites críticos. No entanto, a primeira dificuldade surge em definir este valor, uma vez

que depende de alguns fatores como a espécie animal, a sua fase de produção e da temperatura ambiente (Cruz e Baptista, 2006).

De acordo com Cruz e Baptista (2006) e Babot e Revuelta (2009), aceita-se como valor máximo de teor de humidade os 80% e os 40% como valor mínimo. No caso de suínos em engorda foram sugeridos vários valores de humidade relativa que se encontram entre o intervalo de 60 a 80% (Esmay e Dixon, 1986; Fuentes, 1992; Hinkle e Stombaugh, 1983 citados por Cruz e Baptista, 2006; e Vaquero, 1987 citado por Salvador e Vidal, 2004).

2.1.3 Velocidade do ar

A velocidade do ar é um parâmetro importante e a ter em conta, principalmente na situação de Inverno, pelo que um dos objetivos é evitar que o ar frio vindo do exterior incida diretamente sobre os animais, uma vez que os riscos de ocorrência de pneumonias podem aumentar (Stärk, 2000). Por outro lado, durante o Verão, o objetivo principal é que o ar seja dirigido diretamente para os animais, aumentando desta forma as trocas de calor por convecção, o que se traduz numa sensação de frescura (Cruz e Baptista, 2006).

Os valores aceitáveis para a velocidade do ar dependem principalmente da temperatura exterior e interior. De acordo com Vaquero (1981) citado por Cruz e Baptista (2006), os valores máximos durante o Inverno variam entre 0,1 m/s em leitões e entre 0,1 e 0,2 m/s em porcos adultos; por outro lado, durante o Verão estima-se que os valores se aproximem de 0,4 m/s em porcos adultos.

2.1.4 Luminosidade e nível de ruído

Uma luminosidade adequada deve permitir que se realizem todas as tarefas dentro da instalação, pelo que segundo o Decreto-lei 135/2003, de 28 de junho, os suínos não devem ser mantidos permanentemente na obscuridade, devendo ser expostos a uma luz com uma intensidade de pelo menos 40 lux (abaixo dos 20 lux o suíno apresenta dificuldades em encontrar alimento e água), durante um período mínimo de oito horas por dia. Esta legislação demonstra a necessidade que os suínos apresentam de luminosidade, a fim de satisfazer as suas necessidades comportamentais e fisiológicas (EFSA, 2007 citado por Martelli, 2015).

Os suínos, pelo facto de serem animais sociáveis, apresentam a sua comunicação bem desenvolvida (Borges, 2013). Em situações de *stress*, os animais tendem a expressar diferentes comportamentos individuais, como é o caso das vocalizações (Hessing *et al.*, 1993 citado por Moi *et al.*, 2015). Deste modo, mediante o tipo e duração do estímulo *stressante*, os animais realizam uma série de vocalizações com funções diferentes (grunhido, guincho ou grito), o que permite quantificar o grau de *stress* dos animais (Baptista *et al.*, 2011).

Por norma, os parâmetros utilizados para medir o ruído das instalações são o nível de pressão sonora e a frequência em que é emitida (Düpjan *et al.*, 2008). Referente a estes parâmetros é de salientar que são influenciados pelos equipamentos presentes na exploração, principalmente os de ventilação (Manteuffel *et al.*, 2004).

Em Portugal, segundo o Decreto-lei 135/2003, de 28 de junho, nos alojamentos dos suínos devem ser evitados ruídos constantes ou súbitos, assim como níveis de ruído contínuo igual ou superior a 85 dB.

2.1.5 Qualidade do ar

Os principais fatores que influenciam a acumulação de gases no interior das instalações pecuárias são as reduzidas/ incorretas taxas de ventilação do ar (Baêta e Souza, 2010), superlotação de animais, falta de higiene (aglomeração de fezes e urina nos pisos) e o tratamento deficiente dos efluentes (Barcellos *et al.*, 2008).

A qualidade do ar nos sistemas intensivos de produção está diretamente relacionada com o metabolismo dos suínos, que libertam calor, humidade e dióxido de carbono (CO₂) provenientes da respiração (Sampaio, 2004). A composição da dieta é um fator que influencia as quantidades e tipos de gases emitidos (Aarnink, 2007), uma vez que os dejetos depositados, resultantes do processo digestivo, também libertam gases capazes de provocar desconforto humano e animal, nomeadamente amoníaco (NH₃), metano (CH₄), gás sulfídrico (H₂S) e dióxido de carbono (CO₂). Existem ainda outros gases que se apresentam em quantidades residuais e que normalmente não são considerados limitantes para a produção (Baêta e Souza, 2010).

Este parâmetro tem tido cada vez maior importância na análise do bem-estar dos animais no interior das instalações pecuárias, uma vez que elevadas concentrações de alguns destes gases podem ser tóxicas.

Em Portugal, segundo o Decreto-Lei 135/2003, de 28 de junho, as concentrações de gases nocivos devem ser mantidas dentro dos limites que não sejam prejudiciais para os animais. Estes limites são estabelecidos pela CIGR (*Commission Internationale du Génie Rural*), que recomenda que as concentrações dos gases mais comuns ao ambiente de suínos devem não devem exceder os 3000 ppm para o CO₂, 20 ppm para o NH₃, 10 ppm para CO e 0,5 ppm para H₂S (Sampaio *et al.*, 2006).

2.2 EFEITO DA TEMPERATURA NAS PERFORMANCES PRODUTIVAS DE SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO E ENGORDA

A temperatura ambiente é um dos fatores ambientais mais importantes e que mais influenciam as performances de suínos. O *stress* térmico é uma das principais fontes de perdas de produção nos sistemas produtivos de suínos (Pearce *et al.*, 2013). Devido à sua baixa capacidade de dissipar o calor, para manter uma temperatura corporal constante em condições quentes, os porcos procuram mais a redução da produção de calor metabólico do que outras espécies domesticadas. A redução da ingestão alimentar em animais submetidos a *stress* térmico é considerada a principal adaptação comportamental para diminuir a produção de calor. Esta redução do consumo de ração tem um impacto negativo e direto no desempenho produtivo (Renaudeau *et al.*, 2014).

Muitos estudos sobre o efeito da temperatura ambiente sobre as performances de suínos em crescimento e engorda foram realizados. De acordo com a tabela 1, é possível verificar alguns resultados de experiências anteriores:

Temperatura (°C)	Peso vivo (kg) / Idade (dias)	Genótipo	Parâmetro produtivo			Referências
			IA (kg/dia)	GMD (kg/dia)	IC (kg)	
12 (INV)	30 kg	Large White	2,500	0,720	3,50	Lefaucheur <i>et al.</i> , (1991)
28 (VER)			2,070	0,710	2,92	
11,5 (INV)	50 kg		2,850	0,683	4,14	Cruz (1997)

27,0 (VER)		Duroc Jersey, Landrace, Large White e Piétrain	2,620	0,612	4,43	
12,0 (INV)			2,530	---	---	
22,0 (TNZ)	37 kg	Piétrain x Large White	2,220	---	---	Quiniou <i>et al.</i> , (2000)
19,0 (TNZ)			2,400	---	---	
29,0 (VER)			1,820	---	---	
23,0 (TNZ)	28±1d	Piétrain x (Large White x Landrace)	1,483	0,987	1,50	Collin <i>et al.</i> , (2001)
33,0 (VER)			1,045	0,621	1,68	
22,0 (TNZ)	29±0,49 kg	Landrace x Large White	2,030	0,914	2,22	Manno <i>et al.</i> , (2006)
32,0 (VER)			1,789	0,860	2,08	
17,6 a 26,6 (TNZ)	73 a 110d	Landrace x Large White	1,913	0,770	2,49	Fagundes <i>et al.</i> , (2008)
22,5 a 35,0 (VER)			1,687	0,656	2,58	
17,6 a 26,6 (TNZ)			2,677	0,790	3,43	
22,5 a 35,0 (VER)			2,233	0,695	3,21	
21,0 (TNZ)	30,1±1,79 kg	Landrace x (Landrace x Large White)	2,120	1,040	2,04	Kiefer <i>et al.</i> , (2009)
31,0 (VER)	30,9±2,09 kg		1,810	0,780	2,32	

20,0±1 (TNZ)	35±4 kg	Híbridos	1,960	1,140	1,72	Pearce <i>et al.</i> , (2013)
10,0 (INV)			2,200	0,771	2,91	
22,5 (TNZ)	24 kg	Híbridos	1,910	0,798	2,41	Miller (2012)
35,0 (VER)			1,600	0,640	2,52	
23,9 (TNZ)	88±1 kg	Híbridos	3,200	0,950	3,37	White <i>et al.</i> , (2008)
32,2 (VER)			2,300	0,620	3,71	
20,0 (TNZ)	50,4 kg	Landrace x (Yorkshire x Duroc)	1,741	0,388	4,49	Hsia e Lu (2004)
30,0 (VER)			1,732	0,453	3,82	
15,0 (TNZ)			3,200	0,790	3,99	
20,0 (TNZ)	70 a 110 kg	Híbridos	3,200	0,850	3,79	Nichols <i>et al.</i> , (1980) citado por Myer e Bucklin (2001)
25,0 (VER)			2,600	0,720	3,65	
30,0 (VER)			2,200	0,420	4,91	
17,0 (TNZ)			2,550	0,930	2,50	Christon (1988) citado por Myer e Bucklin (2001)
22,0 a 29,0 (VER)	55 a 80 kg	Híbridos	2,120	0,570	3,57	
21,0 a 8,0 (INV)	28 a 113 kg	Híbridos	3,280	0,950	3,46	Myer <i>et al.</i> , (1998) citado por Myer e Bucklin (2001)
21,0 a 32,0 (VER)			3,080	0,850	3,63	

Tabela 1 – Dados sobre o efeito da temperatura ambiente sobre as performances de suínos em crescimento e engorda

Analisando os estudos citados, em especial aqueles em que animais de genótipo e peso/idade eram colocados em condições ambientais diferentes, verifica-se uma redução sistemática da ingestão alimentar em condições de calor (VER) quando comparada com a verificada na termoneutralidade e frio (INV). Conseqüentemente, esta redução da ingestão alimentar, provoca uma diminuição no ganho médio diário de peso vivo dos animais, quando expostos a situações de *stress* por calor (VER). Por outro lado, os melhores índices de conversão alimentar foram obtidos na maioria dos estudos em condições de termoneutralidade.

De um modo geral, os suínos em fase de crescimento e engorda utilizados nestes trabalhos, maximizaram as suas performances produtivas em condições de conforto térmico (TNZ).

Isto pode ser explicado pelo facto de que os porcos para se adaptarem a um clima adverso facilitam ou dificultam as trocas de calor com o meio. Isto é conseguido através de alterações comportamentais (Ingram, 1974 e Cabanac, 1979 citados por Cruz, 1997) e fisiológicas (Nienaber e Hahn, 1988 citado por Cruz, 1997) desenvolvidas pelos animais, cuja ativação tem uma incidência direta sobre o metabolismo energético e a utilização dos alimentos (Rinaldo, 1989 citado por Cruz, 1997).

Esta adaptação passa pela ativação dos mecanismos termorregulatórios através de um aumento da termogénese e diminuição da termólise em condições de frio e, vice-versa, em condições de calor (Cruz, 1997). Este processo apresenta sempre efeitos negativos nas performances dos animais, uma vez que nas situações em que os porcos estão alojados a temperaturas ambientais inferiores à TNZ (*stress* por frio) necessitam de mais energia para a termorregulação (através do incremento da ingestão alimentar), disponibilizando menos energia para o crescimento. Por outro lado, em situações em que os animais se encontram sob temperaturas ambientais superiores à TNZ (*stress* por calor) verifica-se um efeito duplamente penalizador da termorregulação, uma vez que os suínos, devido à sua dificuldade em dissipar calor, diminuem a ingestão alimentar de modo a diminuir a produção de calor o que, conseqüentemente, conduz a reduções nas performances produtivas.

2.3 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Os índices de conforto térmico têm sido utilizados com o objetivo de fornecer dados para a gestão ambiental e para avaliar o risco de perdas, através da ligação entre respostas fisiológicas ou produtivas dos animais. Esta ligação é baseada em observações criteriosas de parâmetros fisiológicos e de desempenho (temperatura corporal, taxa de respiração, crescimento, produção de leite) em simultâneo com dados ambientais (temperatura, humidade relativa, radiação e velocidade do ar). Estes dados servem como *inputs* para os índices de conforto térmico, fazendo uma relação empírica de resposta biológica, que é desenvolvida para prever a resposta dos animais às condições térmicas (Hahn *et al.*, 2009).

Os índices de conforto térmico normalmente combinam os efeitos de duas ou mais medidas térmicas que representam a influência do calor sensível e latente, transferido entre o animal e seu ambiente. Como tal, um valor de índice representa o efeito produzido pelo processo de troca de calor, o que pode alterar a resposta biológica (Fournel *et al.*, 2017).

No trabalho de revisão de Fournel *et al.* (2017) verificou-se que vários investigadores foram desenvolvendo ao longo dos anos diferentes índices de conforto térmico, como por exemplo o índice de temperatura-humidade (THI) obtido, inicialmente, por combinação entre temperaturas do bulbo seco e húmido. Posteriormente chegou-se à conclusão de que o THI poderia ser calculado utilizando a temperatura do ponto de orvalho em vez da temperatura do bulbo húmido e que este índice poderia ser ajustado a diferentes espécies de animais (eq. 2.1):

$$THI = Tbs + 0,36 Tpo + 41,2 \quad (\text{eq. 2.1})$$

(Yousef, 1971);

Onde, Tbs é a temperatura de bulbo seco e Tpo é a temperatura de ponto de orvalho.

Esta descoberta veio facilitar o cálculo do valor de THI, uma vez que a obtenção do valor de temperatura do ponto de orvalho, embora não seja um processo imediato, é mais simples relativamente à temperatura do bulbo húmido. No entanto, em estudos seguintes o THI foi ajustado aos valores de humidade relativa (eq. 2.2 e 2.3) em detrimento da temperatura de ponto de orvalho (Mader *et al.*, 2006).

$$THI = (0,8 * Tbs) + \left(\left(\frac{RH}{100} \right) * (Tbs - 14,4) \right) + 46,4 \quad (\text{eq. 2.2})$$

(Mader *et al.*, 2006);

Onde, Tbs é a temperatura de bulbo seco e RH é a humidade relativa em %.

$$THI = ((1,8 * Tbs) + 32) - ((0,55 - (0,0055 * HR)) * ((1,8 * Tbs) - 26,8)) \quad (\text{eq. 2.3})$$

(National Research Council, 1971);

Onde, Tbs é a temperatura de bulbo seco e RH é a humidade relativa em %.

A Iowa State University desenvolveu em 2002 um gráfico do índice de temperatura-humidade (THI) para suínos em fase de crescimento e engorda (figura 1):

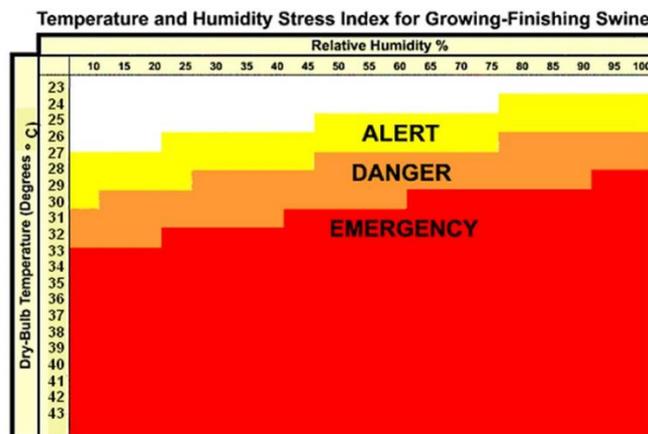


Figura 1 - Índice de Temperatura-Humidade (THI) para suínos (Fonte: The Pig Site, 2002)

De acordo com o índice THI utilizam-se os seguintes limites de conforto térmico (tabela 1):

THI	≤ 74	75 – 78	79 – 83	≥ 84
Condição	Conforto Térmico	Alerta	Perigo	Emergência

Tabela 2 - Limites de conforto térmico para suínos de acordo com o índice THI; Fonte: de Oliveira Júnior et al. (2018)

Ao integrar os efeitos da humidade, o THI passou a abranger parte do impacto das condições ambientais quentes em animais, contudo deverá ser desenvolvida mais pesquisa no sentido de melhorar estas ferramentas (Shao e Xin, 2008). Neste sentido, tornam-se inevitáveis modificações ao THI considerando que existem limitações nomeadamente associadas à radiação termal, fluxo de ar, intensidade e duração do calor, condições de frio (não existem índices adaptados a estas condições ambientais) e especificidades da espécie em questão (Hahn *et al.*, 2009).

2.4 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

Os sistemas de climatização devem ser corretamente desenhados em função da localização da instalação, da espécie animal e da sua fase de produção, desta forma é possível baixar os consumos energéticos necessários na climatização das instalações (Navas *et al.*, 2010).

A produção pecuária intensiva requer um sistema de controlo ambiental apropriado para maximizar o bem-estar e a produtividade dos animais e prolongar a vida útil da infraestrutura (Baêta e Souza, 2010; Fournel *et al.*, 2017).

A modificação ambiental é geralmente efetuada por ventilação (natural ou mecânica), aquecedores para condições de frio e equipamentos de arrefecimento para condições de altas temperaturas (Baêta e Souza, 2010; Fournel *et al.*, 2017).

Esses equipamentos são idealizados para o manuseamento das variáveis ambientais como a temperatura, humidade, velocidade do ar e contaminantes aéreos. Para controlar eficazmente as condições ambientais dentro da instalação, as taxas de ventilação e necessidades de aquecimento ou arrefecimento são determinadas com base no balanço térmico e no balanço de massa (Baêta e Souza, 2010; Fournel *et al.*, 2017).

2.4.1 Ventilação

Cruz e Baptista (2006) afirmam que, a ventilação é uma das técnicas de controlo ambiental mais importante na determinação das condições ambientais no interior de instalações pecuárias.

Para projetar um sistema de ventilação torna-se fundamental ter em consideração todos os fatores que contribuem para a definição das condições ambientais no interior de uma instalação pecuária, nomeadamente:

- (i) As condições climáticas exteriores;
- (ii) As características do efetivo pecuário;
- (iii) As características da construção e do equipamento de condicionamento ambiental (Cruz e Baptista, 2006).

2.4.1.1 Funções e importância da ventilação

Um sistema de ventilação tem como principal objetivo renovar o ar no interior de uma instalação pecuária, o que interfere com outros fatores ou parâmetros ambientais. Neste sentido, para que sejam criadas as condições adequadas aos animais através do controlo ambiental, torna-se imprescindível o controlo efetivo do caudal de ventilação em conjunto com o controlo da distribuição do ar no interior de uma instalação (Puigdomènech *et al.*, 2009).

Para que um sistema de ventilação seja eficaz, a quantidade de ar que entra no interior de uma construção deve ser a adequada, bem como a sua distribuição uniforme (Cruz e Baptista, 2006).

De acordo com Cruz e Baptista (2006) e Puigdomènech *et al.*, (2009), um sistema de ventilação bem dimensionado permite satisfazer os três grandes objetivos da ventilação, que são essencialmente:

- (i) Controlo da temperatura;
- (ii) Controlo da humidade;
- (iii) Controlo da concentração de gases e poeiras.

Nas instalações destinadas ao alojamento de animais a taxa de ventilação é fundamentalmente determinada em situações de tempo quente (Verão) e de tempo frio (Inverno). Deste modo, é possível considerar duas situações completamente distintas e três objetivos em comum (Cruz e Baptista, 2006).

a) Controlo da temperatura

O cálculo do caudal de ventilação cujo principal objetivo é a manutenção de uma determinada temperatura, deve ter por base as temperaturas críticas inferiores e superiores das diferentes espécies animais, de modo a evitar situações de *stress* térmico (Cruz e Baptista, 2006).

De acordo com estes autores, o cálculo do caudal de ventilação em função da temperatura numa situação de Verão conduz à taxa máxima de renovação do ar. Interessa então evitar que a temperatura atinja valores prejudiciais para os animais e proporcionar-lhe bem-estar através do contacto com o ar em movimento (Baptista e Meneses, 1997). Por outro lado, durante o Inverno, uma vez que o calor não é um fator limitante do microclima interior, torna-se mais importante reduzir as perdas e aproveitar da melhor forma possível o calor produzido pelos animais (Cruz e Baptista, 2006).

b) Controlo da humidade relativa

Segundo Cruz e Baptista (2006), a humidade relativa é um parâmetro climático importante, uma vez que têm influência nas trocas de calor latente entre os animais e o ambiente, favorecendo o desenvolvimento e a transmissão de algumas doenças, bem como contribuindo para a degradação dos materiais de construção e dos equipamentos. Deste modo, o controlo do teor de humidade assume principal importância na situação de Inverno, uma vez que as temperaturas são mais baixas, o que torna mais provável a ocorrência de condensação e problemas respiratórios nos animais.

De acordo com Bruce (1977) citado por Cruz e Baptista (2006), na situação de Inverno existem dois limites para o caudal de ventilação: um valor mínimo, que deve ser mantido por razões de saúde dos animais ou para remover a humidade em excesso e um valor máximo, que está associado à elevada velocidade do vento e que se for excedido, conduz a situações de *stress* causadas pelo frio e, conseqüentemente, a uma quebra produtiva.

c) Controlo da concentração de gases e poeiras

O sistema atual de produção caracteriza-se pela produção intensiva e em confinamento, onde se verifica uma elevada densidade animal, o que contribui para o aumento da contaminação ambiental (Kunz *et al.*, 2005 citado por Inoue *et al.*, 2012).

De acordo com Cruz e Baptista (2006), a manutenção da pureza química do ar é vital, quer se trate de uma situação de Inverno ou de Verão. A renovação do ar é essencial para manter um teor adequado de oxigénio e permitir que os principais gases existentes nos sistemas intensivos de produção (dióxido de carbono, amoníaco, gás sulfídrico, metano, monóxido de carbono e outros) não atinjam valores a partir dos quais se tornam tóxicos.

Por outro lado, para além dos gases existem outros contaminantes ambientais do ar no interior de uma instalação pecuária como é o caso das poeiras (pequenas partículas suspensas no ar com diâmetro inferior a 1 μm), que de acordo com diversos autores são as principais responsáveis pela deterioração da saúde e bem-estar dos animais (Kyeong-seok Kwon *et al.*, 2016) e dos humanos, podendo provocar graves problemas respiratórios (Escobet *et al.*, 2009).

Cruz e Baptista (2006) indicam que, na maior parte das situações, o caudal de ventilação calculado com base na temperatura ou humidade é maior que o caudal calculado em função da concentração do dióxido de carbono (normalmente utilizado como gás de referência), razão pela qual apenas se fazem cálculos confirmativos. Desta forma, o cálculo do caudal de ventilação para o controlo da humidade ou do teor de gases conduz à taxa mínima de renovação do ar.

2.4.1.2 Diferentes tipos de ventilação

A ventilação pode ser natural (estática) ou forçada (mecânica) (Puigdomènech *et al.*, 2009). De acordo com Bruce (1977) citado por Cruz e Baptista (2006), pode não existir diferença na qualidade do ar por ventilação natural ou forçada, sendo que a única diferença está nas forças que originam os dois tipos de ventilação.

A ventilação natural é baseada na formação de correntes de ar e diferenças de pressão e temperatura entre o ar exterior, frio e seco, e o ar interior, quente e húmido (Puigdomènech *et al.*, 2009). Ou seja, na ventilação natural são usadas forças naturais como o vento e a impulsão térmica (figura 2).

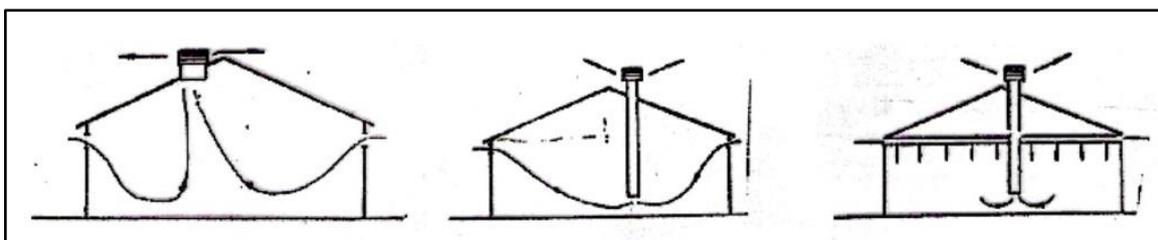


Figura 2 - Exemplos de sistemas de ventilação natural (Fonte: Material didático – ERU10432)

Na ventilação forçada, a velocidade de entrada e saída do ar na instalação pode ser muito superior às conseguidas por ventilação natural (Puigdomènech *et al.*, 2009). Este tipo de ventilação pode ocorrer por pressão ou por extração (figura 2).

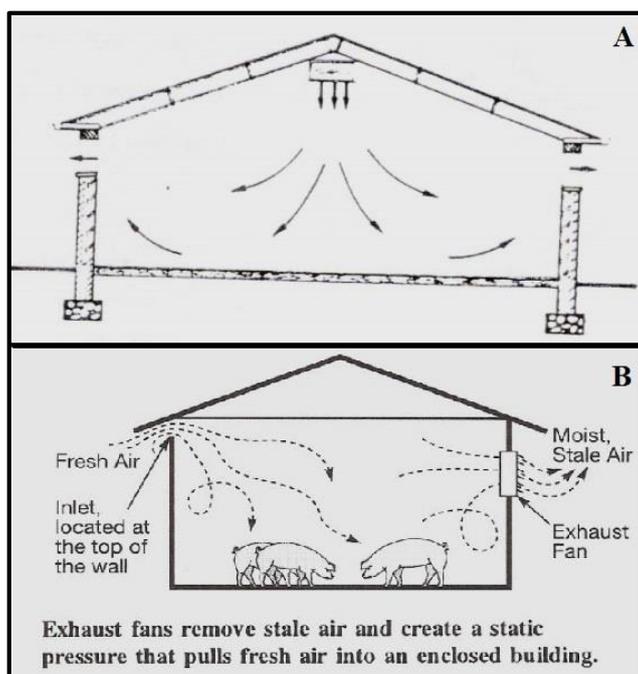


Figura 3 - A: sistema de ventilação mecânica por pressão;
B: sistema de ventilação mecânica por extração (Fonte: Material didático – ERU10432)

Segundo Cruz e Baptista (2006), o dimensionamento e a localização das áreas de ventilação devem ter em conta os princípios físicos da ventilação natural, de modo a aproveitar a ocorrência de diferenças de pressão através dessas aberturas. O mesmo se aplica na escolha dos equipamentos (ventiladores) a utilizar nos sistemas de ventilação mecânica (figura 4).

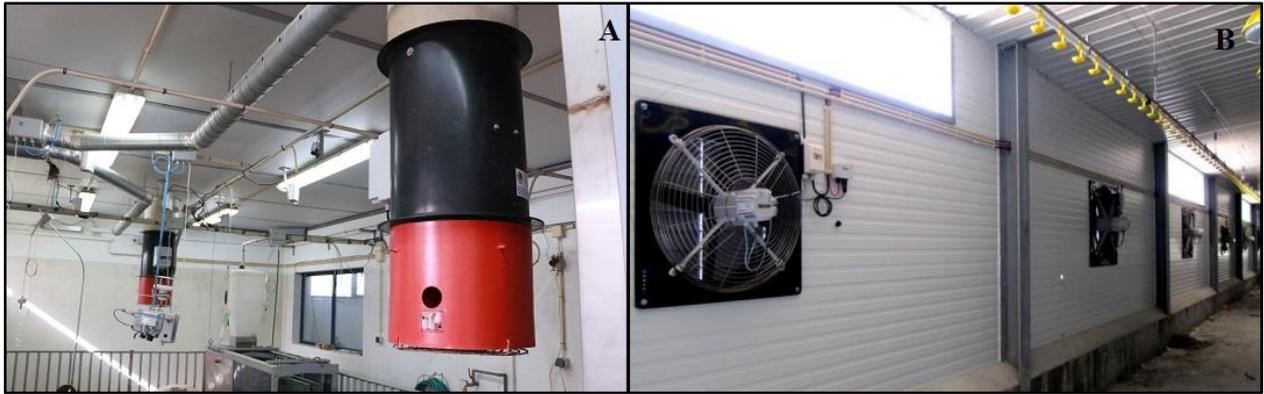


Figura 4 - A: extratores verticais; B: ventiladores transversais (Fonte: Material didático – ERU10432)

2.4.2 Aquecimento

Em muitas instalações pecuárias, tais como pavilhões de suínos, quando o calor produzido pelos animais é insuficiente para manter a temperatura ambiente pretendida, torna-se necessário recorrer, de forma contínua ou em algumas horas do dia, a alguns equipamentos destinados ao aquecimento do ar (Baêta e Souza, 2010).

2.4.2.1 *Funções e importância do aquecimento*

As necessidades de instalar sistemas de aquecimento em explorações suinícolas estão relacionadas com as características fisiológicas dos animais, que determinam as suas exigências térmicas. Desta forma, é importante ter em consideração que nem todos os animais alojados numa instalação pecuária apresentam as mesmas necessidades térmicas. Um dos fatores que pode tornar imprescindível a utilização de sistemas de aquecimento, é a presença de leitões, cujas necessidades térmicas são mais elevadas e possuem uma capacidade adaptativa menor (Blanes-Vidal e Torres, 2009).

O aquecimento pode ser localizado ou geral. Esta distinção tem uma elevada importância nos pavilhões de suínos, uma vez que nas maternidades coabitam, em simultâneo, as fêmeas e os leitões (Blanes-Vidal e Torres, 2009). Desta forma, a necessidade de possuir dois ambientes totalmente distintos, leva a que os sistemas de aquecimento assumam um papel de extrema importância na sobrevivência e na otimização das performances produtivas dos animais.

2.4.2.2 Diferentes tipos de aquecimento

Os sistemas de aquecimento de construções mais utilizados em suínos são os sistemas convencionais, tais como: o aquecimento por radiação (luz infravermelhas) e através de tapetes de aquecimento, no caso dos leitões; e o aquecimento por convecção (figura 5) do ar interior (Blanes-Vidal e Torres, 2009).



Figura 5 - Sistema de aquecimento por convecção através de gás (Fonte: Elaboração própria)

Uma vez que os custos resultantes do aquecimento se tornam dispendiosos, outros sistemas foram estudados para aplicar em pavilhões destinados ao crescimento e engorda. Um dos mecanismos que foi implementado de forma a não gerar tantos gastos energéticos é o isolamento térmico de forma a reduzir as perdas de calor (Blanes-Vidal e Torres, 2009); outro, embora recente, passa pela implementação de painéis solares como fonte de energia.

Outro tipo de sistema é o aquecimento do pavimento (Goedseels *et al.*, 1990 citado por Cruz, 1997; Spillman e Hinkle, 1971, Restrepo *et al.*, 1977 citados por Xiong, 2013) que consiste num sistema de tubos de água que funciona como permutador de calor, colocados ao nível do solo (D'Allaire *et al.*, 1992 citado por Cruz, 1997) (figura 6).



Figura 6 - Sistema de aquecimento do pavimento (Fonte: Elaboração própria)

2.4.3 Arrefecimento

Os suínos adultos são bastante sensíveis ao calor. Neste sentido, os sistemas de arrefecimento tornam-se importantes de forma a evitar uma quebra no rendimento produtivo (Blanes-Vidal e Torres, 2009).

2.4.3.1 Funções e importância do arrefecimento

Os sistemas de arrefecimento consistem na introdução de ar exterior na instalação que, previamente, sofreu um processo de arrefecimento (Blanes-Vidal e Torres, 2009).

O principal objetivo do arrefecimento prende-se em extrair o excesso de calor do interior da instalação de modo a evitar que a temperatura aumente e atinja valores acima da temperatura ótima para animais (Blanes-Vidal e Torres, 2009).

Quando o objetivo de interferir no ambiente natural é impedir o *stress* térmico dos animais, vários métodos podem ser utilizados, como por exemplo a ventilação, o arrefecimento de elementos da construção como a cobertura, o arrefecimento do próprio animal ou o arrefecimento do ar ambiente. Todos eles, em geral, revelam benefícios adicionais (Baêta e Souza, 2010).

2.4.3.2 Diferentes tipos de arrefecimento

Os métodos convencionais de arrefecimento do ar (bombas de calor) são dispendiosos. Neste sentido, os sistemas de arrefecimento evaporativos (*evaporative cooling*), apresentam-se como sistemas alternativos e de menor custo (Baêta e Souza, 2010; Cruz, 1997). Geralmente, durante este processo não existe adição de calor externo e por isso o conteúdo total de calor não varia. Apenas se verifica uma alteração adiabática de calor sensível para calor latente. No entanto, ocorre uma alteração ambiental resultante da mudança de estado da água e da mudança na temperatura da mistura ar-vapor, que melhora consideravelmente as condições de conforto, principalmente para espécies animais como o suíno, que não possuem glândulas sudoríparas funcionais (Baêta e Souza, 2010). O principal inconveniente nestes sistemas é que, devido à adição de água no meio, a humidade relativa pode aumentar e pode atingir níveis prejudiciais à saúde dos animais (Blanes-Vidal e Torres, 2009).

O sistema de arrefecimento evaporativo do ar pode ser conseguido de dois métodos (Bötcher *et al.*, 1993 citado por Cruz, 1997):

- (i) Por painéis de evaporação;
- (ii) Por sistemas mistos ou de nebulização.

Nos painéis de evaporação (figura 7) o contacto do ar com a água ocorre através de um painel situado nas entradas de ar do sistema de ventilação (Blanes-Vidal e Torres, 2009). No entanto, este sistema pode tornar-se num processo lento no caso do ar colocado em contacto com a superfície da água esteja parado, resultando numa diminuição da sua eficiência e desempenho (Baêta e Souza, 2010).



Figura 7 - Painéis de evaporação (Fonte: Material didático – ERU10432)

O sistema de nebulização (figura 8) consiste em transformar uma determinada massa de água em gotículas e na sua pulverização a alta pressão, o que conduz a um aumento da superfície de água exposta ao ar, possibilitando uma evaporação mais rápida (Baêta e Souza, 2010; Blanes-Vidal e Torres, 2009). Este processo consome energia o que, consequentemente, conduz a uma diminuição da temperatura. Os sistemas de nebulização podem ser utilizados em conjunto com a ventilação forçada, possibilitando deste modo uma distribuição homogênea das gotículas (Baêta e Souza, 2010).



Figura 8 – Sistema nebulização (Fonte: <http://www.agriexpo.online/pt/>)

De acordo com Böttcher (1993) citado por Cruz (1997) a eficiência de qualquer um dos sistemas de arrefecimento evaporativo é tanto maior quanto maior for a temperatura e mais seco for o ar. Desta forma estes sistemas são mais usados em climas quentes e secos (Blanes-Vidal e Torres, 2009).

2.5 SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO

Existem diferentes aplicações tecnológicas combinadas (termómetros, sensores capacitivos, anemómetros, câmaras de vídeo, sistemas de pesagem automáticos, etc.) que são utilizadas pela zootecnia de precisão desde o início do século XXI. Estas ferramentas tendem a demonstrar as possibilidades (atuais e futuras) do *feedback* dos animais em relação ao ambiente, o que permite auxiliar os produtores nos processos de monitorização e controlo, bem como nas tomadas de decisão.

2.5.1 Sensores utilizados na zootecnia de precisão

As decisões de gestão, baseadas nos índices de conforto térmico, para um controle ambiental preciso requerem instrumentos apropriados e a monitorização exata de todos os parâmetros. Os animais respondem ao seu ambiente, que é caracterizado pela temperatura, humidade, radiação e velocidade do ar, bem como por respostas fisiológicas e comportamentais. Algumas dessas respostas podem ser medidas e avaliadas através da ingestão de água, produção de calor, nível de hormonas, frequência cardíaca e respiratória, peso corporal, temperatura corporal e mudanças de comportamento (Eigenberg *et al.*, 2009), nestas é possível incluir também a atividade do animal e o seu tipo de movimentação (Fournel *et al.*, 2017).

2.5.1.1 *Medições ambientais*

Os parâmetros ambientais geralmente medidos relacionados com o conforto térmico animal incluem a temperatura ambiente, humidade, radiação e velocidade do ar. Estes caracterizam, aproximadamente, o ambiente onde os animais se encontram (Fournel *et al.*, 2017) e são medidos na zona em que os animais estão confinados (Eigenberg *et al.*, 2009). Isto permite que a informação obtida pelos produtores seja mais precisa e atualizada, o que facilita no processo de tomada de decisão (Eigenberg *et al.*, 2009).

a) Temperatura ambiente

Os dispositivos que medem a temperatura dependem da alteração de algumas propriedades físicas (Doebelin e Manik, 2007). As temperaturas ambientais das instalações pecuárias podem ser medidas com sucesso através de *termopares* ou *thermistors*. Os *termopares* medem a temperatura ambiente através da tensão térmica associada a metais dissimilares e oferecem algumas vantagens como a sua durabilidade, custos relativamente baixos e versatilidade. Por outro lado, os *thermistors* (figura 9) baseiam-se na resistência elétrica dos metais para medir a temperatura ambiente e têm a vantagem de serem muito mais sensíveis e tolerantes a grandes diferenças de temperatura do que os *termopares*, no entanto a sua construção torna-os mais frágeis (Eigenberg *et al.*, 2009; Frost *et al.*, 1997).



Figura 9 - Sensores de temperatura (Fonte: Elaboração própria)

b) Humidade

As investigações feitas mostram que em ambientes rigorosos, como instalações pecuárias, os métodos de condutividade térmica podem ser utilizados com sucesso na determinação do teor de vapor de água presente na instalação. A precisão do método diminui com temperaturas mais baixas, no entanto, os sensores podem trabalhar com altas temperaturas, gases corrosivos e poeira. Um *thermistor* combinado (40 a 60°C) com um sensor de humidade relativa (0 e 100% de humidade relativa) (figura 10), protegido por um filtro de aço inoxidável sinterizado, são usualmente instalados em instalações pecuárias (Banhazi, 2009; Fournel *et al.*, 2012).



Figura 10 - Sensor de humidade relativa (Fonte: Elaboração própria)

c) Radiação

A energia radiante é geralmente medida através da detecção das alterações de temperatura de uma superfície exposta à radiação ou pela resposta de uma célula fotoelétrica. Os piranômetros, que medem a radiação total, direta e difusa, são o tipo mais comum de instrumento utilizado para quantificar a radiação solar em estudos que envolvem animais. Um piranômetro tem uma cúpula de vidro que permite que o espectro solar aqueça áreas brancas e pretas e corrija os efeitos de cosseno em diferentes ângulos solares (Fournel *et al.*, 2017).

Por outro lado, o termómetro de globo *Vernon* é o instrumento padrão para medir a temperatura do globo negro, sendo composto por uma esfera de cobre vazia de 150mm e paredes pintadas de preto no exterior, contendo um termómetro de bulbo seco não blindado no centro da esfera. Este integra a troca de calor radiante e o aquecimento por convecção ou arrefecimento num único valor que pode ser utilizado para calcular a temperatura média radiante (Eigenberg *et al.*, 2009).

A quantidade de luz, ou fluxo luminoso, projetada, por segundo, numa unidade de área de uma superfície (luminância) é medida por um instrumento chamado luxímetro (figura 11). A unidade de medida é o lux. Um lux é igual a um lúmen por metro quadrado (lm/m^2) (Pedroso *et al.*, 2016). Este tipo de equipamentos consiste basicamente numa célula fotoelétrica ligada a um miliamperímetro. A célula fotoelétrica é um material semicondutor e sensível à luz. Quando a luz incide sobre a célula fotoelétrica, ocorre a formação de corrente no semicondutor, que é medida no amperímetro através de uma escala graduada para medir o nível de iluminância (Pedroso *et al.*, 2016).



Figura 11 - Luxímetro (Fonte: Elaboração própria)

d) Concentração de gases

A maioria dos sensores disponíveis no mercado para a medição da concentração de gases (figura 12) apresenta três princípios de funcionamento distintos: sensores resistivos, óticos e eletroquímicos (Gomes, 2015).

De acordo com Aleixandre e Gerboles (2012), o princípio de medição dos sensores resistivos é baseado na variação da resistência ou condutividade de um óxido de metal quando exposto a diferentes concentrações de um determinado composto gasoso. Dentro dos sensores óticos, o principal tipo de sensor utilizado na medição de compostos gasosos é o sensor por absorção de infravermelho, no entanto existem também os sensores de fotoionização, baseados no potencial de ionização como princípio de funcionamento (Castell *et al.*, 2013). Os sensores eletroquímicos podem ser divididos, de acordo com o princípio de operação, em três classes: amperimétricos, potenciométricos e condutimétricos. No sensor eletroquímico amperimétrico, quando a célula eletroquímica para medição de gases é exposta a uma atmosfera gasosa que contém um composto electroativo são desencadeadas reações eletroquímicas de oxidação-redução (Jacquinot *et al.*, 1999); no sensor eletroquímico potenciométrico, as reações eletroquímicas ocorridas no sensor permitem que a tensão em circuito aberto entre os dois eléctrodos seja medida, sendo essa tensão normalmente proporcional ao logaritmo da concentração do gás (Stetter e Li, 2008); e no sensor condutimétrico, segundo Janata (2009), a concentração do gás alvo é relacionada com a leitura da condutância da célula eletroquímica, sendo esta recíproca da resistência.



Figura 12 - Caixa sensorial para a medição da concentração de gases (Fonte: Elaboração própria)

e) Velocidade do ar

A velocidade do ar é medida na vizinhança do animal para captar as trocas de calor e massa do animal (Eigenberg *et al.*, 2009). A velocidade do ar pode ser medida por anemômetros de vários tipos, com base em métodos mecânicos, relações de pressão, princípios térmicos e o efeito Doppler. Estes aparelhos são instrumentos muito sensíveis e são facilmente afetados por vestígios de poeira (Eigenberg *et al.*, 2009).

Em aplicações na produção animal, são comuns dois tipos de anemômetros (figura 13), dependendo do tipo de fluxo de ar que está a ser medido: anemômetros de fio quente e anemômetros de hélice. Um anemómetro de fio quente é o instrumento de eleição para aplicações de baixa velocidade de ar, tais como 0,25 m/s (condições que se verificam em muitas instalações pecuárias). O anemómetro de hélice é um instrumento mais robusto que é bem adequado para correntes de ar. Estes anemómetros não medem velocidades de ar baixas (< 0,25m/s) porque a massa da pá requer uma boa quantidade de ar em movimento para rodar (Fabian-Wheeler, 2012).

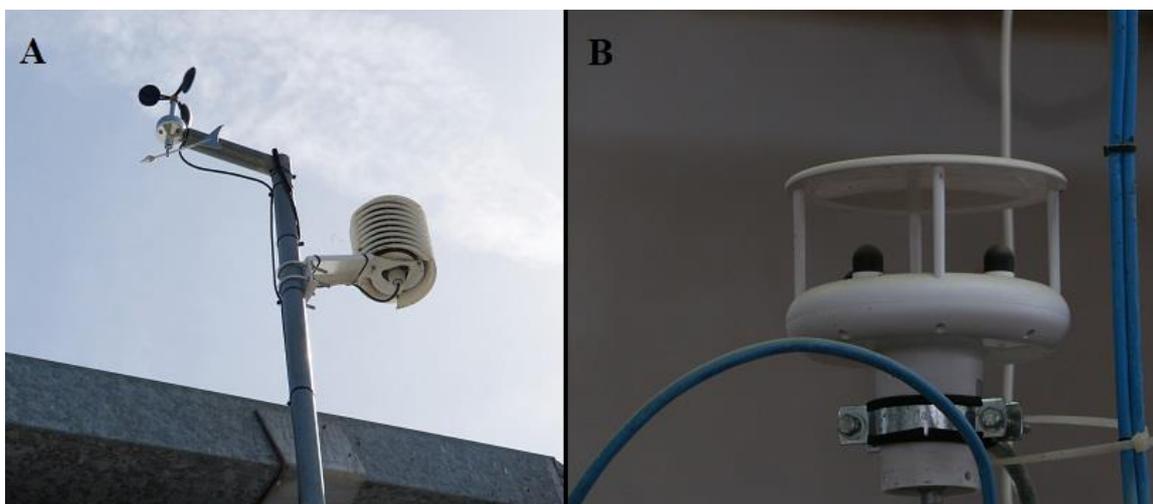


Figura 13 - A: anemómetro de hélice; B: anemómetro de fio quente (Fonte: Elaboração própria)

2.5.1.2 Medições fisiológicas

Os parâmetros fisiológicos geralmente medidos relacionados com o conforto animal incluem a temperatura da superfície corporal, taxa de respiração, frequência cardíaca e variação de peso corporal. Podem haver algumas dificuldades associadas a este tipo de medições, uma vez que as intrusões para observar os animais podem influenciar e levar a alterações nos resultados finais (Fournel *et al.*, 2017).

a) Temperatura da superfície corporal

Os registos de dados eletrónicos de confiança e fácil acesso têm sido utilizados em conjunto com *thermopares*, infravermelhos e *thermistors* para medições contínuas de temperatura desde a década de 80, de modo a substituir as medidas de curto prazo utilizando termómetros de mercúrio (Eigenberg *et al.*, 2009).

No entanto, a medição remota da temperatura não é simples. Podem haver algumas dificuldades associadas dependendo da localização da medição, uma vez que a função fisiológica da parte do corpo em questão, ou o nível de invasividade do dispositivo, pode causar alterações na temperatura do animal (Sellier *et al.*, 2014). Neste sentido, a análise termográfica (figura 14), através de câmaras térmicas, assume-se como uma técnica de mapeamento da temperatura superficial, não invasiva, que permite estimar as perdas de calor (Nascimento *et al.*, 2011).

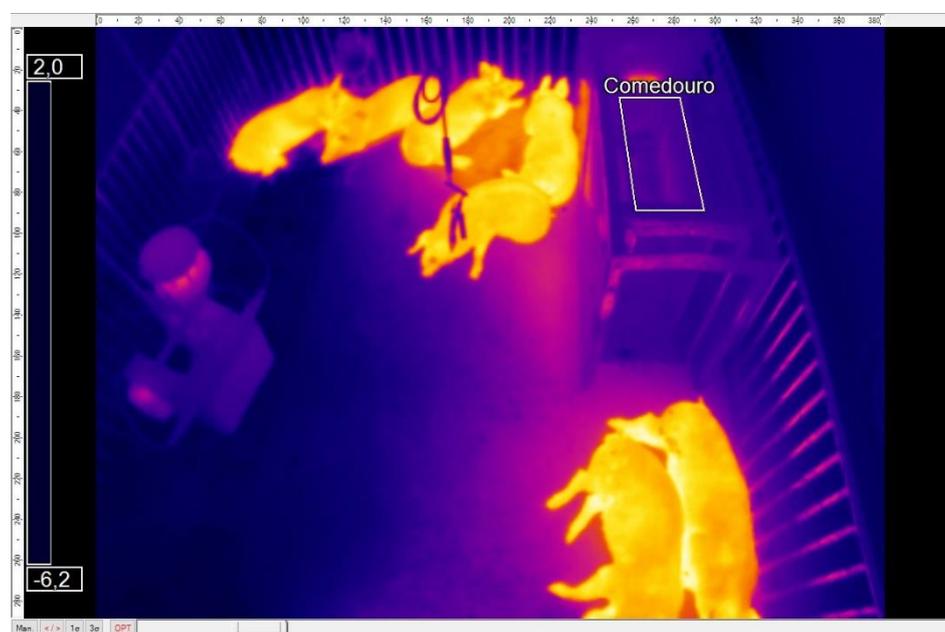


Figura 14 - Análise termográfica através de câmara térmica (Fonte: Software Optris)

b) Taxa de respiração

A taxa de respiração é de particular interesse como uma resposta fisiológica, pelo facto de um grande número de estudos ter mostrado uma correlação entre a temperatura do bulbo seco, a radiação solar e a velocidade do ar. Como resultado, a taxa de respiração mostrou ser um bom indicador de *stress* térmico. Além disso, também tem a vantagem de

ser facilmente observável e demonstrar um pequeno tempo de atraso em relação à temperatura (Eigenberg *et al.*, 2009).

O equipamento automatizado para medir a taxa de respiração existente é bastante limitado. A taxa de respiração pode ser detetada utilizando um dispositivo adaptado que é colocado no nariz do animal, contudo este método não tem sido muito utilizado (Eigenberg *et al.*, 2000; Frost *et al.*, 1997). Uma vez que os suínos passam grande parte do seu tempo na posição de repouso e têm movimentos respiratórios menos definidos em comparação com outros animais, Eigenberg *et al.* (2002) decidiu gravar a componente audível da respiração do porco. O sensor era um pequeno microfone colocado sob a garganta e seguro com uma banda elástica padrão. O desenvolvimento de métodos de aquisição de dados remotos permitiu a construção de sistemas de monitorização sem contacto, medindo a taxa de respiração de outras espécies.

c) Variação de peso corporal

O peso de um animal é um indicador importante do seu bem-estar (Broom e Molento, 2004; Baptista *et al.*, 2011). Qualquer alteração no sentido descendente de peso dos animais pode indicar um alerta precoce de problemas de saúde ou simplesmente problemas com equipamentos de alimentação ou ventilação (Frost *et al.*, 1997). As medidas tradicionais para medir o peso de suínos, bovinos e aves requerem o deslocamento do animal para os aparelhos de pesagem no chão ou em elevação (balança mecânica ou balança eletrónica), que é, fisicamente, um fator de *stress* tanto para o animal como para o trabalhador (Brandl e Jørgensen, 1996; Li *et al.*, 2014). Para reduzir o *stress*, foram desenvolvidas balanças de auto acesso, tais como plataformas de pesagem eletrónicas, colocadas em frente de um único alimentador, ou balanças de medição baseadas na locomoção de suínos (Gates *et al.*, 1995). O dispositivo consiste numa plataforma que mede a tensão. O instrumento é monitorizado através de um computador que determina o peso entre cada registo, armazena cada leitura e fornece uma distribuição do peso do grupo de animais ao responsável da exploração (Fournel *et al.*, 2017).

Também existem métodos indiretos para a medição do peso vivo que minimizam o *stress* nocivo sobre os animais. A correlação significativa entre o peso vivo e as dimensões de um animal conduziu muitos autores a estudar a possibilidade de estimar o peso corporal a partir das características físicas (Enevoldsen e Kristensen, 1997; Heinrichs *et al.*, 1992).

Outra forma de medir a massa indiretamente, em suínos, é utilizar a técnica de visão mecânica em suínos (Banhazi *et al.*, 2011; Kollis *et al.*, 2007). Uma vez que existe uma forte correlação entre o peso de um animal e a sua área de visão plana, foi desenvolvido um sistema que inclui uma câmara de vídeo ligada a um computador equipado com *hardware* e *software* apropriados para quantificar a resultante da relação. Assim, os algoritmos do computador segmentam os corpos na cena visual, extraem a sua área de visão e, de seguida, estimam o peso do animal (Frost *et al.*, 1997; Wang *et al.*, 2008).

Outro sistema de pesagens são as máquinas de alimentação automática que possuem um sistema RFID (identificação por rádio frequência) e uma balança (figura 15). Isto permite que o animal seja identificado e pesado sempre que se está a alimentar (Maselyne, 2015). Os dados de todas as leituras são armazenados e colocados à disposição do produtor, de modo a que seja possível monitorizar e controlar de um modo mais eficiente o crescimento dos animais.



Figura 15 - Células de carga das máquinas de alimentação automática (Fonte: Elaboração própria)

2.5.1.3 Medições comportamentais

A monitorização dos comportamentos animais, nomeadamente em relação à sua disposição no local e à sua atividade, tem sido efetuada com sucesso através de alguns aparelhos eletrónicos (Eigenberg *et al.*, 2009).

Os parâmetros comportamentais geralmente medidos relacionados com o conforto animal incluem a alimentação e consumo de água, o comportamento animal, presença e

atividade e o índice de ocupação de espaço. Estes indicadores podem ser úteis para determinar o estado de saúde dos animais, bem como o estado fisiológico.

a) Alimentação e consumo de água

A ingestão de alimentos, a ingestão de água e o comportamento alimentar tornaram-se indicadores úteis do estado de saúde dos animais (Brown-Brandl *et al.*, 2013; Kashiha *et al.*, 2013). O consumo de ração e alterações no comportamento alimentar podem estar relacionadas com as condições térmicas (Cruz, 1997). Alguns sistemas que medem a ingestão alimentar, em conjunto com o comportamento alimentar (duração da refeição, intervalo de refeição, número de refeições por dia e tempo total consumido), têm sido testados em suínos (Brown-Brandl *et al.*, 2013; Chapinal *et al.*, 2008).

Alguns dos sistemas estão equipados com uma antena que deteta através de um *transponder* de radiofrequência, localizado na marca de orelha do animal, a sua aproximação ao comedouro ou ao recipiente de água. Para cada abordagem, um computador regista os dados enviados pela antena, que incluem o número do animal, o número do compartimento, o tempo de permanência e o peso, calculando depois a duração da visita e a ingestão. Outros sistemas possuem estações eletrónicas de alimentação, com um sistema de pesagem durante a alimentação ou com sensores de fluxo (Fournel *et al.*, 2017) (figura 16).

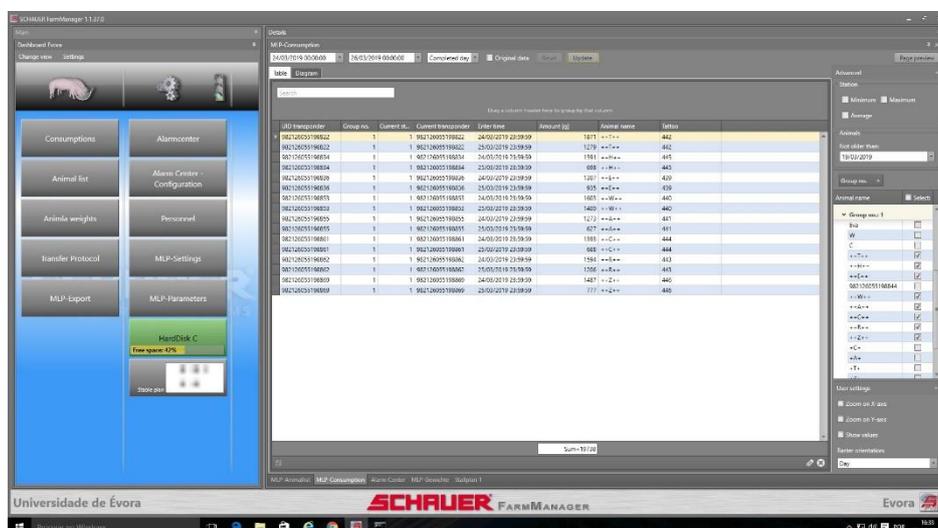


Figura 16 - Registo do consumo alimentar (Fonte: Software schauer compident MLP II)

b) Comportamento animal, presença e atividade

O comportamento de um animal pode ser um indicador claro do seu estado fisiológico, uma vez que permite perceber que:

(i) um animal doente pode ser menos ativo do que um animal saudável;

(ii) os animais em ambiente frio podem amontoar-se para se aquecer;

(iii) o nível de atividade de um animal pode estar relacionado com o seu estado no ciclo reprodutivo (Frost *et al.*, 1997).

Os dados sobre a atividade comportamental são habitualmente recolhidos por uma pessoa através da observação direta ou da análise de gravações de vídeo. No entanto, estes métodos consomem tempo e mão-de-obra (Müller e Schrader, 2003).

O registo automático da atividade (deitado, parado e em movimento) pode ser obtido utilizando uma variedade de sistemas de sensores: sensores de proximidade ultrassónicos (Hillman *et al.*, 2000), interruptores de mercúrio (Ouellet *et al.*, 2016), pedómetros (Brehme *et al.*, 2004), e acelerómetros (Diosdado *et al.*, 2015; Ouellet *et al.*, 2016). No entanto, o comportamento animal é muito mais complexo do que um simples registo da sua atividade numa determinada área. A capacidade de reconhecer eletronicamente um comportamento animal específico (comer, lutar, morder) requer o desenvolvimento de um sistema de visão por computador. As informações podem ser recolhidas utilizando imagens digitalizadas, definindo componentes-chave das mesmas e recorrendo a equações numéricas. As imagens são produzidas por uma variedade de dispositivos físicos, incluindo câmaras fotográficas e de vídeo (figura 17), radares e aparelhos de ultrassom. O sistema é, deste modo, calibrado atribuindo comportamentos baseados na observação visual e determinando os valores dos parâmetros a partir das equações numéricas. Em vídeos posteriores, os comportamentos podem ser identificados com base apenas nos valores dos parâmetros (Kristensen *et al.*, 2006; Viazzi *et al.*, 2014).



Figura 17 - Análise de vídeo através de câmaras de vídeo (Fonte: Elaboração própria)

c) Índice de ocupação de espaço

Os animais adotam alguns comportamentos para ajudar nos processos de termorregulação. Estes comportamentos caracterizam-se pela distribuição espacial dos animais e se estes procuram zonas mais frescas ou mais quentes, consoante as suas necessidades. Em relação à temperatura ambiente mais baixa, segundo os estudos sobre os indicadores a incluir nos protocolos de avaliação de bem-estar animal do Welfare Quality®, concluiu-se que a deteção de animais amontoados, em porcos de engorda, permite determinar o grau de conforto térmico. As temperaturas elevadas potenciam a que os animais estejam mais tempo deitados e afastados (Costa, 2015).

Atualmente é possível monitorizar a ocupação de espaço dos animais através de câmaras de vídeo e softwares de análise de imagem (figura 18). Os índices de ocupação de espaço são calculados através de algoritmos que, com o auxílio da imagem de câmaras de vídeo, detetam a distribuição espacial dos animais (Berckmans, 2014). Isto permite detetar diversos problemas no interior das instalações de suínos.



Figura 18 - Índice de proximidade (Fonte: Software GRID)

2.5.2 Sistemas de controle, alerta e atuação

Atualmente, os controladores ambientais utilizam pontos de ajuste de variáveis ambientais, que se supõe serem ótimas para um animal. Estes set-points foram derivados de uma combinação de pequenas experiências de laboratório. Apesar da aplicação de técnicas modernas, essa abordagem nem sempre resulta no processo esperado, porque simplifica demasiado as interações complexas entre um animal e seu ambiente (Pandorfi, 2012). A dependência de novas formas de aquisição de informação nas explorações pecuárias, através dos sistemas da zootecnia de precisão, deve ter a capacidade de ativar práticas de gestão animal que sejam mais sensíveis aos sinais do mercado (Fournel *et al.*, 2017).

As tecnologias de zootecnia de precisão abrangem:

- (i) métodos para medir eletronicamente os componentes críticos dos sistemas de produção relacionados com a eficiência do uso dos recursos;
- (ii) ferramentas de *software* destinadas a interpretar as informações captadas;
- (iii) o controle dos processos para garantir a produtividade animal ideal (Fournel *et al.*, 2017).

Estes sistemas de monitorização e controlo em tempo real devem melhorar radicalmente a eficiência da produção das empresas pecuárias (Banhazi e Black, 2009; Kuczynski *et al.*, 2011).

No entanto, torna-se necessário caracterizar com precisão as condições ambientais e prever o seu impacto nos desempenhos e bem-estar dos animais, pelo que ao longo das duas últimas décadas, uma série de novas tecnologias tornaram-se disponíveis para ventilação, aquecimento e arrefecimento das instalações pecuárias, e foram feitos avanços, ainda que limitados, no desenvolvimento de algoritmos de controlo. Para obter maior benefício com as novas tecnologias disponíveis, é necessário integrar mais conhecimento sobre a interação entre as respostas dos animais e as ações de controlo nos algoritmos aplicados (Banhazi *et al.*, 2009).

Em relação aos sensores usados, existe uma ampla variedade de sensores e biossensores que podem ser utilizados para medir variáveis ambientais, fisiológicas e comportamentais. Contudo ainda é necessário desenvolver equipamentos com custo reduzido para medir, armazenar e analisar variáveis como a temperatura corporal, a humidade e o comportamento que funcionem bem em ambientes agressivos, não invasivos e capazes de funcionar automaticamente e continuamente (Wathes *et al.*, 2008).

Sendo assim, surge a necessidade de desenvolver uma estratégia inovadora para o controlo térmico do ambiente animal que inclua, como ilustra a Figura 19:

(i) Detecção contínua, a uma frequência adequada, de parâmetros ambientais (temperatura ambiente e humidade, velocidade do ar, radiação solar, qualidade do ar, etc.) e, dependendo da complexidade do sistema, respostas comportamentais (taxa de crescimento, temperatura corporal, frequência cardíaca e respiratória, movimentação, grau de aglomeração entre os animais, ingestão de alimentos e água, etc.);

(ii) Armazenamento de dados;

(iii) Interpretação de dados utilizando modelos de simulação de resposta biológica, tais como índices de conforto animal que predizem, em tempo real, o resultado dinâmico de cada variável à medida que as condições ambientais variam (Fournel *et al.*, 2017);

(iv) Um sistema de controlo *online* que modifique automaticamente o microambiente animal quando os limites críticos são violados, tendo sido estabelecido critérios predeterminados (Wathes *et al.*, 2008).

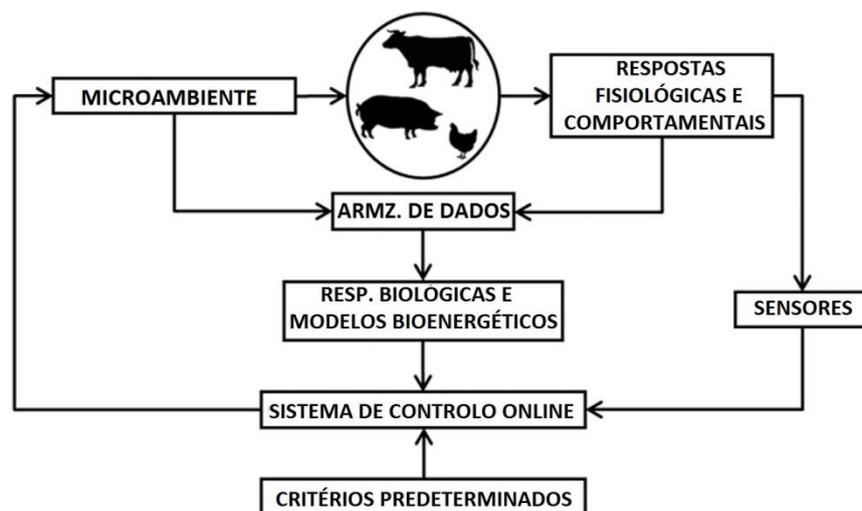


Figura 19 - Visão geral esquemática dos principais componentes do controlo ambiental da zootecnia de precisão (adaptado de: Aerts *et al.*, 2003, Vansteelant *et al.*, 1988 citados por Fournel *et al.*, 2017; Wathes *et al.*, 2008)

Deste modo, a zootecnia de precisão assume-se como o conceito básico para o desenvolvimento de um sistema de controlo avançado baseado em monitorização automática, numa frequência adequada de variáveis ambientais, fisiológicas e comportamentais.

2.6 CONCLUSÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO EXPERIMENTAL

Tal como mostra a revisão bibliográfica, o ambiente térmico é um fator que se revela influenciador na fisiologia, comportamento e produtividade de suínos em fase de crescimento e engorda. Neste sentido, de modo a avaliar o impacto do ambiente sobre os animais, diferentes índices de conforto térmico foram desenvolvidos ao longo dos anos.

Para se atingirem os objetivos produtivos, é necessário que os suínos se encontrem sob condições de conforto térmico, de modo a utilizar todo o seu potencial zootécnico. Para que tal aconteça, as construções destinadas a alojar animais devem possuir ferramentas de controlo ambiental, de modo a se adaptarem aos condicionalismos derivados das condições ambientais, tais como os sistemas de climatização.

primeiro lugar para um teto falso (o que permite que não incida diretamente nos animais) e entra em contacto com os animais posteriormente através de 4 aberturas de ar em cada canto do teto falso. A saída de ar ocorre através dos extratores verticais.

O aquecimento da instalação é feito através de um sistema convencional de aquecimento do espaço, através de gás (sistema de convecção). O arrefecimento ocorre através de um sistema de nebulização.



Figura 21 - Sala de ambiente controlado da Mitra (Fonte: elaboração própria)

Para permitir a recolha de dados foram utilizados os seguintes equipamentos (Tabela 3):

Material	Unid.	Intervalos de medição	Precisão
Câmara térmica (Optris PI 400/450)	1	contínua	---
Câmara vídeo (Foscam FI9961EP);	6	contínua	---
Sensor pressão atmosférica (RK300-01)	1	---	$\pm 0,2\%$
Sensor CO2 (E2608-CO2-10K)	1	0 – 10 000 ppm	± 50 ppm
Luxímetro (LXT-TRM)	1	0 – 50 000 lux	$\pm 5\%$ (<10 000 lux); $\pm 10\%$ (>10 000 lux)
Decibelímetro (SLT-TRM-ICA)	1	30 – 130 dB	$\pm 1,5$ dB

Microfone (Hi-fidelity Pickup HAP300)	1	20Hz – 20kHz	---
Sensor CO (CapTemp TH3-CO)	1	---	---
Sensor H2S (CapTemp TH3-H2S)	1	---	---
Sensor NH3 (CapTemp TH3-NH3)	1	---	---
Anemómetro fio quente (Gill WindSonic P6022)	1	0 – 60 m/s	± 2%
Sonda temperatura (COPILOT)	4	---	---
Sonda temperatura (CapTemp TH3-Temp OW)	7	---	---
Sonda humidade (EE06)	1	0 – 100% HR	± 3% (10 – 90% HR); ± 5% (<10% HR e >90% HR)
Estação meteorológica (Barani Weather Station).	1	0 – 100 m/s; 0 – 360°	< 2%; 2°

Tabela 3 - Lista de material utilizado para recolha de dados

3.2 ANIMAIS

3.2.1 Caracterização dos animais

Foram utilizadas 14 fêmeas (7 em cada ensaio) de genótipo *Piétrain x Topigs Norsvin* (TN60) provenientes de uma exploração comercial. Para cada lote de animais em cada ensaio os animais foram escolhidos de forma a obter grupos o mais homogêneos de peso inicial. Os coeficientes de variação dos pesos de entrada foram de 4% no ensaio 1 e de 3% no ensaio 2. O número de animais e a área do parque determinaram uma área de 1,5m² por animal.

3.2.2 Procedimentos iniciais

Após a chegada dos animais, todos foram identificados por meio de um brinco eletrónico (Sistema RFID). Este brinco era composto por um número, correspondente ao animal (figura 22):



Figura 22 - Sistema de identificação através de brinco eletrônico (Fonte: Elaboração própria)

Para facilitar a identificação visual, a cada número fez-se corresponder uma letra (A, W, R T, E, C, H), que foi pintada, através de *spray* marcador, no dorso dos animais (figura 23). Essa identificação era reforçada quando necessário.



Figura 23 - Animais identificados através de marcador *spray* (Fonte: Elaboração própria)

Em ambos os ensaios e previamente à recolha de dados aqui apresentados, houve um período de habituação à sala, ambiente e presença e manipulação humana de duas semanas. Durante este período o alimento foi fornecido em *ad libitum* e com acesso livre à água. As condições ambientais nesse período de habituação foram, em ambos os ensaios: temperatura média de $18 \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de 60%.

3.2.3 Condições ambientais simuladas

Foram simuladas três condições ambientais diferentes: inverno (INV) – stress por frio, termoneutralidade (TNZ) e verão (VER) – stress por calor. A sequência e condições em cada um dos ensaios é apresentada na seguinte tabela:

	Condições Ambientais	Peso vivo médio (kg)	T média (°C)	HR (%)	Duração (dias)
E1	INV	74,8	10 ± 2	80	14
	TNZ	84,4	17 ± 2	60	14
	VER	94,2	30 ± 2	50	14
E2	VER	57,6	30 ± 2	50	12
	TNZ	70,5	17 ± 2	60	15
	INV	85,7	10 ± 2	80	15

Tabela 4 - Procedimento experimental da experiência

Após um período de ensaio de 42 dias em ambos os ensaios, os animais foram abatidos num matadouro comercial oficial quando atingiram, em média, $99,1 \pm 4,4$ kg no ensaio 1 e $92,7 \pm 4,4$ kg no ensaio 2.

3.2.4 Alimentação

O fornecimento de alimento aos animais foi efetuado numa estação de alimentação automatizada descrita mais adiante neste capítulo. Os animais foram alimentados durante todo o ensaio com um alimento composto concentrado para suínos em crescimento, sob a forma de farinha e com a seguinte informação nutricional (segundo dados fornecidos pelo

fornecedor): Energia limpa (2406 kcal/kg); Energia metabolizável (3152 kcal/kg); Energia digestível (3320 kcal/kg); Amido (43,4%); Proteína Bruta (16,8%); Matéria Gorda Bruta (3,5%); Fibra Bruta (4,6%); Cinza Bruta (5,2%); Lisina (1,10%); Metionina (0,36%); e Treonina (0,78%).

O alimento concentrado encontrava-se armazenado num silo e, com a entrada do animal na estação de alimentação, era disponibilizada uma quantidade máxima de ração por visita de 800g, até atingir o seu consumo diário máximo permitido que foi definido em função das suas necessidades nutricionais, tendo por base a tabela 5, calculada para a capacidade máxima de ingestão do animal (INRA, 1984). A cada 24h, a máquina registou o consumo diário total de cada animal, fez um check-up e voltou a disponibilizar alimento para todos os animais.

PESO VIVO	Kg De ALIMENTO
45	1,7
50	1,9
55	2,0
60	2,2
65	2,3
70	2,4
75	2,6
80	2,7
85	2,8
90	2,9
95	3,0
100	3,2
105	3,3
110	3,4

Tabela 5 - Quantidade de Kg de alimento colocado à disposição dos animais em função do seu peso vivo

O abeberamento dos animais foi garantido através de dois bebedouros de taça com tetinas (figura 24) com um caudal de 130 mL/s.

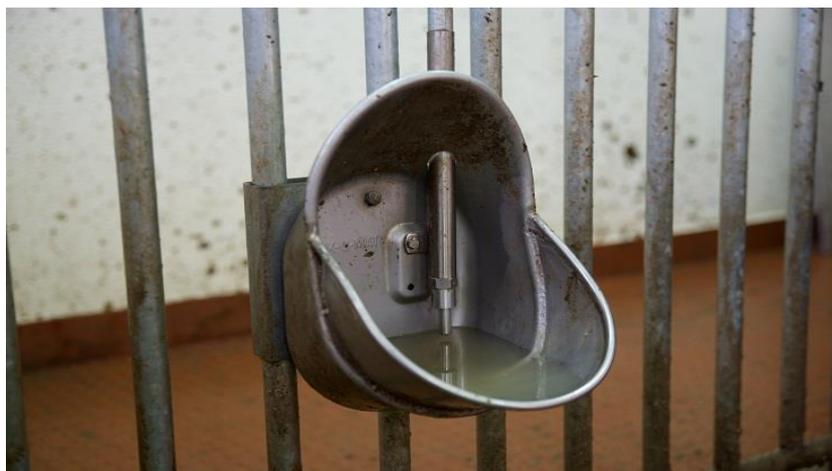


Figura 24 - Bebedouro de taça com tetina (Fonte: Elaboração própria)

3.3 RECOLHA DE DADOS

3.3.1 Medições de dados produtivos

Neste trabalho, os dados produtivos medidos foram o peso vivo inicial, peso vivo final e ingestão alimentar (IA). A recolha destes dados foi realizada através de uma máquina de alimentação automática (*schauer compident MLP II*) (figura 25) que, através de um sistema de RFID, permitiu monitorizar e controlar individualmente a quantidade de alimento fornecido e ingerido (em gramas); o número e duração de visitas (h:mm:s); e o peso dos animais (em gramas).

Esta ferramenta permitiu analisar os dados produtivos dos animais através do cálculo de índices zootécnicos (ganho médio diário e índice de conversão alimentar).

O ganho médio diário de peso vivo (GMD) foi determinado através da seguinte equação:

$$GMD = \frac{Peso(i) - Peso(i - l)}{Data(i) - Data(i - l)} \quad (\text{eq. 3.1})$$

Onde, i é a pesagem atual e $i-l$ é a pesagem anterior.

O índice de conversão alimentar (IC) é um parâmetro que nos dá a quantidade de ração ingerida, para que o animal aumente 1,0 kg do seu peso vivo.

O índice de conversão foi determinado através da seguinte equação:

$$IC = \frac{IA}{GMD} \quad (\text{eq. 3.2})$$

Onde, IA é a ingestão alimentar e GMD é o ganho médio diário.



Figura 25 - Máquina de alimentação schauer compident MLP II (Fonte: elaboração própria)

3.3.2 Medições de dados do microclima interior

Neste trabalho, os dados do microclima interior medidos foram a temperatura e a humidade relativa. A recolha destes dados foi realizada através de dois sistemas:

Ensaio 1: plataforma de prototipagem eletrónica (*Arduino*), que possuía diversos sensores de temperatura e humidade (DHT-11), uniformemente distribuídos na sala de ambiente controlado (figura 26);



Figura 26 - Distribuição espacial do *Arduino* e sensores (Fonte: Elaboração própria)

Ensaio 2: sistema de controlo ambiental (*Webisense*) (figura 27) e uma plataforma de recolha de dados (*Nidus*), que possuíam diversas sondas de temperatura (*COPILOT*) e sondas de hidrometria (*COPILOT*), que se encontravam uniformemente distribuídas pela sala de ambiente controlado.



Figura 27 - Sistema operativo do *Webisense* (Fonte: Elaboração própria)

3.4 PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO

Os dados recolhidos foram armazenados numa base de dados (Excel), sobre a qual se efetuaram dois tipos de análise estatística:

1. **Análise de variância (ANOVA)** – Os cálculos foram efetuados através do programa de análise estatística *SAS studio* – versão 9.4 TS1M6, 2018.

Os dados relativos às performances produtivas (ingestão alimentar, ganho médio diário e índice de conversão alimentar) foram analisados em 3 situações:

- a. Situação de Inverno (INV);
- b. Situação de Termoneutralidade (TNZ);
- c. Situação de Verão (VER)

O modelo geral de análise de variância, utilizado para todos os parâmetros em análise, foi o seguinte:

$$\mathbf{X} = \boldsymbol{\mu} + \mathbf{E}_i + \mathbf{e}_{(i)}$$

Onde X, é o valor do parâmetro em análise; μ é a média corrigida; E_i é o efeito associado às condições ambientais; $e_{(i)}$ é o erro residual.

2. **Análise de covariância (ANCOVA)** – Os cálculos foram efetuados através do programa de análise estatística *SAS studio* – versão 9.4 TS1M6, 2018.

O peso vivo inicial foi introduzido no modelo como co-variável.

Os dados relativos às performances produtivas (ingestão alimentar, ganho médio diário e índice de conversão alimentar) foram analisados nas mesmas situações da análise anterior.

O modelo geral de análise de variância, utilizado para todos os parâmetros em análise, foi o seguinte:

$$\mathbf{X} = \boldsymbol{\mu} + \mathbf{E}_i + \mathbf{I}_j(\text{cov}) + \mathbf{E}^*\mathbf{I}_{ij} + \mathbf{e}_{(ijk)}$$

Onde X , é o valor do parâmetro em análise; μ é a média corrigida; E_i é o efeito associado às condições ambientais; $I_j(\text{cov})$ é o efeito associado ao peso vivo dos animais; E_{ij} é a interação entre as condições ambientais e o peso vivo dos animais; $e(ijk)$ é o erro residual.

3. **Análise de regressão** – para este tipo de análise recorreu-se ao Microsoft Office Excel, onde se fez relacionar as performances produtivas com o peso vivo dos animais.

Aquando da apresentação das equações de regressão utilizaram-se as seguintes siglas:

- pv – peso vivo dos animais (kg)
- R^2 – coeficiente de determinação

Para todas as análises efetuadas foram utilizados os seguintes níveis de significância:

- NS – não significativo ($p \geq 0,05$)
- * - significativo ao nível $p < 0,05$
- ** - significativo ao nível $p < 0,01$
- *** - significativo ao nível $p < 0,001$

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

As condições ambientais interiores e exteriores registadas nos ensaios são apresentadas nos quadros 1 e 2:

Condições Ambientais	Ensaio 1											
	t_0 Média (°C)	t_0 máx (°C)	t_0 mín (°C)	t_i Média (°C)	t_i máx (°C)	t_i mín (°C)	ΔT (°C)	HR ₀ Média (%)	HR _i Média (%)	HR _i máx (%)	HR _i mín (%)	THI*
INV	8,8	18,0	-1,2	11,3	18,6	9,0	2,5	67,6	77,5	95,0	48,4	53,0
TNZ	10,9	19,5	2,0	15,1	22,4	9,0	4,2	81,9	68,3	94,0	36,8	60,0
VER	8,3	18,4	0,0	21,6	27,8	12,0	13,3	80,0	50,2	92,8	21,0	67,3

Quadro 1 - Condições ambientais registadas no Ensaio 1

T_0 = Temperatura exterior; T_i = Temperatura interior;
 HR₀ = Humidade relativa exterior; HR_i = Humidade relativa interior;
 * - THI calculado através da eq. 2.2 (Mader *et al.*, 2006)

Condições Ambientais	Ensaio 2											
	t_0 Média (°C)	t_0 máx (°C)	t_0 mín (°C)	t_i Média (°C)	t_i máx (°C)	t_i mín (°C)	ΔT (°C)	HR ₀ Média (%)	HR _i Média (%)	HR _i máx (%)	HR _i mín (%)	THI*
INV	16,8	30,3	6,2	17,9	24,1	13,4	1,1	58,1	83,1	100,0	72,0	63,6
TNZ	21,9	29,3	3,4	19,3	28,3	15,8	-2,6	64,0	70,8	98,0	50,0	65,5
VER	14,4	27,6	4,3	25,8	28,3	18,5	11,4	71,3	60,4	90,0	42,0	73,9

Quadro 2 - Condições ambientais registadas no Ensaio 2

t_0 = Temperatura exterior; t_i = Temperatura interior;
 HR₀ = Humidade relativa exterior; HR_i = Humidade relativa interior;
 * - THI calculado através da eq. 2.2 (Mader *et al.*, 2006)

Durante o ensaio 1, que incluiu os meses de dezembro e janeiro (Inverno), as temperaturas exteriores registadas foram baixas e as humidades relativas elevadas. No ensaio 2 (abril e maio) as temperaturas exteriores foram mais amenas, bem como as humidades relativas menos elevadas. Salienta-se que a temperatura média exterior aumentou consideravelmente (8,4°) entre o Ensaio 1 (9,3°) e o Ensaio 2 (17,7°).

Através da comparação entre a temperatura interior (temperatura ambiental) e a temperatura exterior, verificou-se que os objetivos de temperatura e humidade relativa para cada uma das situações ambientais nem sempre foram atingidos.

No ensaio 1, a temperatura média registada na situação de verão ($21,6^{\circ}$) foi $8,4^{\circ}$ inferior à temperatura pretendida ($30 \pm 2^{\circ}$). Nas restantes simulações os valores médios obtidos ($11,3^{\circ}$ na situação de inverno e $15,1^{\circ}$ na situação de termoneutralidade) estiveram dentro do intervalo de temperaturas pretendidos ($10 \pm 2^{\circ}$ e $17 \pm 2^{\circ}$, respetivamente). Os valores médios de humidade relativa foram 77,5% (INV), 68,3% (TNZ) e 50,2% (VER) e estiveram dentro dos valores desejados (80%, 60% e 50%, respetivamente).

No ensaio 2, a temperatura média registada na situação de inverno ($17,9^{\circ}$) foi $7,9^{\circ}$ superior à temperatura pretendida ($10 \pm 2^{\circ}$). Na situação de termoneutralidade, a temperatura média registada foi de $19,3^{\circ}$. Este valor foi superior ao intervalo de temperaturas objetivo ($17 \pm 2^{\circ}$), no entanto esta variação foi mínima ($0,3^{\circ}$). Por outro lado, na simulação de verão, o valor médio de temperatura registado ($25,8^{\circ}$) foi $2,2^{\circ}$ inferior ao estabelecido ($30 \pm 2^{\circ}$). Os valores médios de humidade relativa registados na situação de inverno (83,1%) foram apenas 3,1% superiores aos desejados (80%). Na situação de termoneutralidade e verão estes valores (70,8% e 60,4%, respetivamente) foram 10,8 e 10,4% superiores aos pretendidos (60% e 50%).

Os valores de índice de conforto térmico obtidos no ensaio 1 foram 53,0 na situação de inverno, 60,0 na situação de termoneutralidade e 67,3 na situação de verão. Relativamente ao ensaio 2, o valor obtido na situação de inverno foi de 63,6, na situação de termoneutralidade 65,5 e na situação de verão 73,9.

Através da análise da tabela 2 e dos resultados obtidos de THI, é possível constatar que os animais se encontraram sempre em condições de conforto térmico em ambos os ensaios. Apenas na situação de verão do ensaio 2 os animais se aproximaram da situação de alerta (73,9).

4.2 PARÂMETROS PRODUTIVOS

No quadro 3 são apresentados os valores de peso médio inicial e final para cada situação em ambos os ensaios:

	Ensaio 1		Ensaio 2	
Condições Ambientais	PV _{inicial} (kg)	PV _{final} (kg)	PV _{inicial} (kg)	PV _{final} (kg)
INV	70,2	79,4	78,6	92,7
TNZ	79,5	89,3	63,3	77,7
VER	89,2	99,1	52,4	62,8

Quadro 3 - Valores médios de peso vivo inicial e final em cada situação

Nota: não houve período de transição entre cada condição ambiental (motivo pelo qual o peso vivo é contínuo). Neste sentido, a simulação de termoneutralidade foi considerada como o intervalo para os animais recuperarem dos períodos de desconforto térmico.

No quadro 4 são registados os valores médios gerais e desvios padrões relativamente aos parâmetros produtivos (IA, GMD e IC) dos ensaios 1 e 2.

Parâmetro	Ensaio 1	Ensaio 2	Média dos 2 ensaios
IA (kg/dia)	2,452 ± 0,477	2,491 ± 0,418	2,472 ± 0,447
GMD (kg/dia)	0,705 ± 0,763	0,959 ± 0,876	0,834 ± 0,831
IC (kg/kg)	3,59 ± 1,14	3,12 ± 0,91	3,36 ± 1,05

Quadro 4 - Valores médios + desvio padrão dos parâmetros produtivos obtidos no Ensaio 1 e 2

Ao analisar o quadro anterior é possível verificar que o maior ganho médio diário e o menor índice de conversão alimentar se registaram no ensaio 2.

4.2.1 Ensaio 1

Nos quadros 5 e 6 é apresentada a influência das condições ambientais sobre os parâmetros produtivos analisados (IA, GMD e IC) sem e com ajustamento para o peso inicial.

Sem ajustamento para o peso inicial			
Condições Ambientais	Parâmetro		
	Ingestão alimentar ^{a)} (kg/dia)	Ganho médio diário ^{a)} (kg/dia)	Índice de conversão ^{a)} (kg/kg)
INV	2,585 ^a ± 0,047	0,653 ^a ± 0,077	4,23 ^a ± 0,284
TNZ	2,450 ^{ab} ± 0,049	0,758 ^a ± 0,080	3,33 ^{ab} ± 0,284
VER	2,301 ^b ± 0,050	0,663 ^a ± 0,077	3,21 ^b ± 0,284
Valor de P	0,0003 ***	0,1986 NS	0,0290 *

Quadro 5 - Influência das condições ambientais sobre as performances dos suínos no Ensaio 1

a) – Média ± erro padrão;

a, b e c – letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas

Com ajustamento para o peso inicial			
Condições Ambientais	Parâmetro		
	Ingestão alimentar ^{a)} (kg/dia)	Ganho médio diário ^{a)} (kg/dia)	Índice de conversão ^{a)} (kg/kg)
INV	2,792 ^a ± 0,114	0,755 ^a ± 0,197	3,81 ^a ± 0,791
TNZ	2,442 ^b ± 0,049	0,756 ^a ± 0,079	3,33 ^a ± 0,280
VER	2,250 ^b ± 0,109	0,551 ^a ± 0,160	4,22 ^a ± 0,584
P	0,0005 ***	0,3050 NS	0,0509 NS

Quadro 6 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos (com o peso corrigido) no Ensaio 1

a) – Média ± erro padrão;

a, b e c – letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas

4.2.1.1 Ingestão alimentar

As condições ambientais tiveram um efeito significativo ($p < 0,001$) sobre ingestão média diária em ambas as situações de análise, apresentadas no quadro 5 e 6.

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível observar que os animais registaram, relativamente à situação de termoneutralidade, uma ingestão média diária 6% superior na situação de inverno e 6% inferior na de verão (quadro 5). No entanto as diferenças apenas foram significativas na comparação entre a ingestão em INV com a ingestão em situação de VER.

Considerando os dados ajustados para o peso inicial e comparando com a situação TNZ verificou-se um aumento significativo de 14% da ingestão na situação de INV e uma diminuição de 8% na situação de VER, neste caso sem diferença estatisticamente

significativa. os animais registaram um aumento de 14% na situação de inverno comparativamente com a situação de termoneutralidade, bem como uma diminuição de 8% na situação de verão (quadro 6).

4.2.1.2 Ganho médio diário

Embora se tenham registado diferenças no ganho médio diário, estas não se revelaram significativas ($p \geq 0,05$).

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível observar que o maior ganho médio diário (0,758 kg/dia) foi conseguido na situação de termoneutralidade, não se verificando diferenças significativas entre este valor e os obtidos nas simulações de inverno e verão (0,653 kg/dia e 0,663 kg/dia, respetivamente). No entanto, em ambas as situações, verificou-se uma diminuição no ganho médio diário de 14% na situação de inverno e de 13% na situação de verão (quadro 5).

Considerando os dados ajustados para o peso inicial é possível perceber que o maior ganho medio diário (0,756 kg/dia) observou-se na situação de termoneutralidade, embora tenha sido muito idêntico ao da situação de inverno (0,755 kg/dia). Não se registaram efeitos significativos entre estes valores e os obtidos na simulação de verão (0,551 kg/dia), no entanto este valor foi muito próximo da significância mínima, revelando existir uma tendência (quadro 6).

4.2.1.3 Índice de conversão alimentar

As condições ambientais revelaram ter uma influência significativa ($p < 0,05$) sobre os índices de conversão alimentar obtidos na análise sem ajustamento para o peso inicial. Ao ajustar estes valores para o peso inicial, esse efeito não foi registado ($p \geq 0,05$).

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível verificar que o menor índice de conversão foi registado na situação de verão (3,21 kg/kg) e o maior na situação de inverno (4,23 kg/kg). O índice de conversão alimentar obtido na situação de termoneutralidade foi de 3,33 kg/kg (quadro 5).

Por outro lado, considerando os dados ajustados para o peso inicial, constatou-se que o menor índice de conversão alimentar foi conseguido na situação de

termoneutralidade (3,33 kg/kg) e o maior na situação de verão (4,22 kg/kg). O índice de conversão alimentar registrado na situação de inverno foi de 3,81 kg/kg (quadro 6).

4.2.2 Ensaio 2

Tal como referido anteriormente nos quadros 7 e 8 é apresentada a influência das condições ambientais sobre os parâmetros produtivos analisados (IA, GMD e IC).

Sem ajustamento para o peso inicial			
Condições Ambientais	Parâmetro		
	Ingestão alimentar^{a)} (kg/dia)	Ganho médio diário^{a)} (kg/dia)	Índice de conversão^{a)} (kg/kg)
INV	2,814 ^a ± 0,030	0,808 ^a ± 0,086	3,68 ^a ± 0,223
TNZ	2,473 ^b ± 0,030	0,923 ^a ± 0,086	2,82 ^b ± 0,223
VER	2,111 ^c ± 0,034	0,768 ^a ± 0,960	2,87 ^b ± 0,223
P	< 0,0001 ***	0,1036 NS	0,0143 *

Quadro 7 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos no Ensaio 2

a) – Média ± erro padrão;

a, b e c – letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas

Com ajustamento para o peso inicial			
Condições Ambientais	Parâmetro		
	Ingestão alimentar^{a)} (kg/dia)	Ganho médio diário^{a)} (kg/dia)	Índice de conversão^{a)} (kg/kg)
INV	2,635 ^{ab} ± 0,073	0,828 ^a ± 0,231	3,28 ^a ± 0,632
TNZ	2,543 ^a ± 0,029	0,951 ^a ± 0,093	2,75 ^a ± 0,219
VER	2,879 ^b ± 0,114	0,757 ^a ± 0,358	4,17 ^a ± 0,875
P	< 0,0001 ***	0,0137 *	0,0178 *

Quadro 8 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos (com o peso corrigido) no Ensaio 2

a) – Média ± erro padrão;

a, b e c – letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas

4.2.2.1 *Ingestão alimentar*

As condições ambientais manifestaram um efeito significativo ($p < 0,001$) na ingestão média diária em ambas as análises estatísticas.

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível observar que os animais registaram, relativamente à situação de termoneutralidade, uma ingestão média diária 14% superior na situação de inverno e 15% inferior na de verão (quadro 7).

Através dos dados ajustados para o peso inicial foi possível verificar que o efeito das condições ambientais foi semelhante, tendo os animais registado um aumento na sua ingestão alimentar de 4% na situação de inverno e de 13% na situação de verão em relação à situação de termoneutralidade (quadro 8).

4.2.2.2 Ganho médio diário

As condições ambientais revelaram ter uma influência significativa ($p < 0,05$) sobre os ganhos médios diários obtidos na análise com ajustamento para o peso inicial. Na análise sem ajustamento para o peso inicial esse efeito não foi registado ($p \geq 0,05$).

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível observar que o maior ganho médio diário (0,923 kg/dia) foi conseguido na situação de termoneutralidade, não se verificando diferenças significativas entre este valor e os obtidos nas simulações de inverno e verão (0,808 kg/dia e 0,768 kg/dia, respetivamente). No entanto, em ambas as situações, verificou-se uma diminuição no ganho médio diário de 12% na situação de inverno e de 17% na situação de verão (quadro 7).

Considerando os dados ajustados para o peso inicial, o maior ganho médio diário (0,951 kg/dia) observou-se na situação de termoneutralidade. Embora o efeito das condições ambientais sobre o ganho médio diário tenha sido significativo ($p < 0,05$), ao fazer o teste de comparações múltiplas não se registaram diferenças significativas entre as simulações. No entanto, verificou-se, como seria espectável, uma diminuição no ganho médio diário de 13% na situação de inverno (0,828 kg/dia) e de 10% na situação de verão (0,757 kg/dia) (quadro 8).

4.2.2.3 Índice de conversão alimentar

As condições ambientais revelaram ter uma influência significativa ($p < 0,05$) sobre o índice de conversão alimentar obtido em ambas as análises estatísticas.

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível verificar que o menor índice de conversão foi registado na situação de termoneutralidade (2,82 kg/kg). Comparativamente com a situação de termoneutralidade, o índice de conversão alimentar obtido na situação de verão (2,87 kg/kg) pouco variou, no entanto, na situação de inverno (3,68 kg/kg) foi 30% superior (quadro 7).

Através dos dados ajustados para o peso inicial, constatou-se que o menor índice de conversão alimentar foi conseguido na situação de termoneutralidade (2,75 kg/kg). Embora se tenha registado uma interação significativa ($p < 0,05$) entre as condições ambientais e o índice de conversão alimentar, esse efeito não foi observado ao comparar as simulações. O maior índice de conversão foi obtido na situação de verão (4,17 kg/kg) que, relativamente à situação de termoneutralidade, foi 52% superior. O índice de conversão alimentar registado na situação de inverno foi de 3,28 kg/kg (quadro 8).

4.2.3 Média dos 2 ensaios

Nos quadros 9 e 10 é apresentada a influência das condições ambientais sobre os parâmetros produtivos analisados (IA, GMD e IC) em ambos os ensaios.

Sem ajustamento para o peso inicial			
Condições Ambientais	Parâmetro		
	Ingestão alimentar ^{a)} (kg/dia)	Ganho médio diário ^{a)} (kg/dia)	Índice de conversão ^{a)} (kg/kg)
INV	2,703 ^a ± 0,028	0,836 ^a ± 0,058	3,96 ^a ± 0,183
TNZ	2,462 ^b ± 0,029	0,888 ^a ± 0,059	3,07 ^b ± 0,183
VER	2,206 ^c ± 0,031	0,774 ^a ± 0,062	3,04 ^b ± 0,183
P	< 0,0001 ***	0,4213 NS	0,0006 ***

Quadro 9 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos nos 2 ensaios

a) – Média ± erro padrão;

a, b e c – letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas

Com ajustamento para o peso inicial			
Condições Ambientais	Parâmetro		
	Ingestão alimentar ^{a)} (kg/dia)	Ganho médio diário ^{a)} (kg/dia)	Índice de conversão ^{a)} (kg/kg)
INV	2,651 ^a ± 0,029	0,769 ^a ± 0,061	4,03 ^a ± 0,195
TNZ	2,469 ^b ± 0,028	0,893 ^a ± 0,060	3,08 ^b ± 0,185
VER	2,220 ^c ± 0,030	0,772 ^a ± 0,061	3,05 ^b ± 0,186
P	< 0,0001 ***	0,0094 **	0,0059 **

Quadro 10 - Influência das condições ambientais sobre as performances de crescimento de suínos (com o peso corrigido) nos 2 ensaios

a) – Média ± erro padrão;

a, b e c – letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas

4.2.3.1 Ingestão alimentar

As condições ambientais manifestaram um efeito significativo ($p < 0,001$) na ingestão média diária em ambas as análises estatísticas.

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível observar que os animais registaram, relativamente à situação de termoneutralidade, uma ingestão média diária 9% superior na situação de inverno e 12% inferior na de verão (quadro 9).

Ao ajustar os dados para o peso inicial, o efeito provocado pelas condições ambientais foi semelhante, tendo os animais registado um aumento na sua ingestão alimentar de 7% na situação de inverno e uma diminuição de 11% na situação de verão em relação à situação de termoneutralidade (quadro 10).

4.2.3.2 Ganho médio diário

As condições ambientais revelaram ter uma influência significativa ($p < 0,01$) sobre os ganhos médios diários obtidos na análise com ajustamento para o peso inicial. Na análise sem ajustamento para o peso inicial esse efeito não foi registado ($p \geq 0,05$).

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível constatar que o maior ganho médio diário (0,888 kg/dia) foi conseguido na situação de termoneutralidade, não se verificando diferenças significativas entre este valor e os obtidos nas simulações de inverno e verão (0,836 kg/dia e 0,774 kg/dia,

respetivamente). No entanto, em ambas as situações, verificou-se uma diminuição no ganho médio diário de 6% na situação de inverno e de 15% na situação de verão (quadro 9).

Considerando os dados ajustados para o peso inicial, o maior ganho médio diário (0,893 kg/dia) observou-se na situação de termoneutralidade. Embora o efeito das condições ambientais sobre o ganho médio diário tenha sido significativo ($p < 0,01$), ao fazer o teste de comparações múltiplas não se registaram diferenças significativas entre as simulações. No entanto, verificou-se uma diminuição no ganho médio diário de 16% na situação de inverno (0,769 kg/dia) e verão (0,772 kg/dia) (quadro 10).

4.2.3.3 *Índice de conversão alimentar*

As condições ambientais manifestaram um efeito significativo sobre o índice de conversão alimentar nas análises sem ajustamento para o peso inicial ($p < 0,001$) e com ajustamento para o peso inicial ($p < 0,01$).

Não tendo em consideração o peso inicial de cada animal (dados não ajustados) foi possível verificar que o menor índice de conversão foi registado na situação de verão (3,04 kg/kg) e o maior na situação de inverno (3,96 kg/kg). O índice de conversão alimentar obtido na situação de termoneutralidade foi de 3,07 kg/kg (quadro 9).

Através do ajustamento dos dados para o peso inicial, constatou-se que o menor índice de conversão alimentar foi conseguido na situação de verão (3,05 kg/kg), no entanto este valor foi muito próximo do obtido em situação de termoneutralidade (3,08 kg/kg). O maior índice de conversão foi obtido na situação de inverno (4,03 kg/kg) (quadro 10).

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Os valores de temperatura e humidade registados no interior da instalação nem sempre foram os pretendidos, uma vez que as temperaturas exteriores variaram de forma considerável entre ensaios. Esta variação de 8,4° entre o primeiro e o segundo ensaio, impediram a máxima eficiência dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento em algumas das simulações ambientais.

Na situação de verão do Ensaio 1, a temperatura média exterior registada foi de 8,3°, o que provocou limitações no sistema de aquecimento que não teve capacidade para manter a sala de ambiente controlado dentro do intervalo de temperaturas pretendido ($30 \pm 2^\circ$), atingindo apenas uma temperatura média de 21,6°. Por outro lado, as condições de temperatura de inverno e termoneutralidade foram atingidas com sucesso.

Na situação de inverno do ensaio 2, a temperatura média exterior registada foi de 16,8°, o que provocou grandes limitações no sistema de arrefecimento (nebulização) que não teve capacidade para arrefecer a sala de ambiente controlado até ao intervalo de temperaturas desejado ($10 \pm 2^\circ$), atingindo uma temperatura média de 17,9°.

Por outro lado, na simulação de verão, embora a temperatura média atingida (25,8°) tenha sido superior à do Ensaio 1 (21,6°), o intervalo de temperaturas pretendido também não foi alcançado. Isto explica-se pelo facto de que nesse período as temperaturas médias exteriores registadas tenham sido de 14,4°, o que conduziu a um esgotamento do sistema de aquecimento.

5.2 PARÂMETROS PRODUTIVOS

5.2.1 Ingestão alimentar

Em ambos os ensaios, verificou-se um efeito das condições ambientais na ingestão média diária de alimento. Em termos gerais os animais registaram uma ingestão média diária 18% superior na situação de inverno, em relação à situação de verão.

No presente estudo, em condições de verão (stress térmico por calor) a taxa de ingestão média diária diminuiu. Tal concorda com o referido a bibliografia no que respeita ao efeito negativo que as altas temperaturas ambientais exercem sobre a ingestão alimentar

(Christon, 1988 citado por Myer e Bucklin, 2001; Collin *et al.*, 2001; Cruz, 1997; Fagundes *et al.*, 2008; Hsia e Lu, 1987; Hsia e Lu, 2004; Kiefer *et al.*, 2009; Lefaucheur *et al.*, 1991; Manno *et al.*, 2006; Miller, 2012; Nichols *et al.*, 1980 citado por Myer e Bucklin, 2001; Pearce *et al.*, 2013; Quiniou *et al.*, 2000; White *et al.*, 2008).

A ingestão média diária registada nas situações de verão de ambos os ensaios foi semelhante à relatada por Christon (1988) citado por Myer e Bucklin (2001), Cruz (1997), Fagundes *et al.*, (2008), Hsia e Lu (2004), Lefaucheur *et al.*, (1991), Nichols *et al.*, (1980) citado por Myer e Bucklin (2001) e White *et al.*, (2008). No entanto, estes valores são superiores aos referidos por Collin *et al.*, (2001), Kiefer *et al.*, (2009), Manno *et al.*, (2006), Miller (2012) e Quiniou *et al.*, (2000). Isto pode dever-se ao facto de, nestes trabalhos a temperatura média das instalações se ter situado entre a escala de valores de 29 a 35°C e neste estudo, devido ao esgotamento do sistema de aquecimento, estes valores terem sido 21,6° no ensaio 1 e 25,8° no ensaio 2.

A análise dos resultados sugere a existência de uma interação entre a temperatura ambiente e período de crescimento na ingestão alimentar. Os animais, a partir dos 85kg de peso vivo na situação de verão do ensaio 1, estiveram sujeitos a temperaturas ambientais elevadas e, para se adaptarem às condições de calor, diminuíram a sua ingestão alimentar (figura 28).

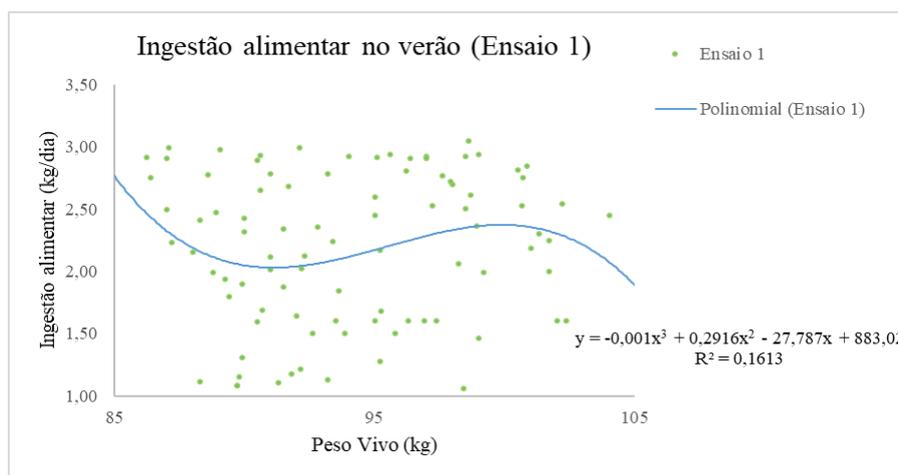


Figura 28 - Evolução da ingestão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 1)

Esta tendência não se demonstrou linear e isto explica-se pelo facto de as temperaturas ambientais a que os porcos estiveram sujeitos não tenham sido frequentemente superiores à temperatura crítica superior. No entanto, é evidente que o

efeito das altas temperaturas na ingestão alimentar de suínos é mais marcado quando os animais são mais pesados (Cruz, 1997; Hsia e Lu, 1987).

O mesmo não se verifica ao longo da situação de verão no ensaio 2, uma vez que os animais tinham um peso vivo inferior e estiveram sujeitos a temperaturas próximas das temperaturas de conforto térmico, o que se revelou num aumento linear da ingestão alimentar com o peso vivo (figura 29).

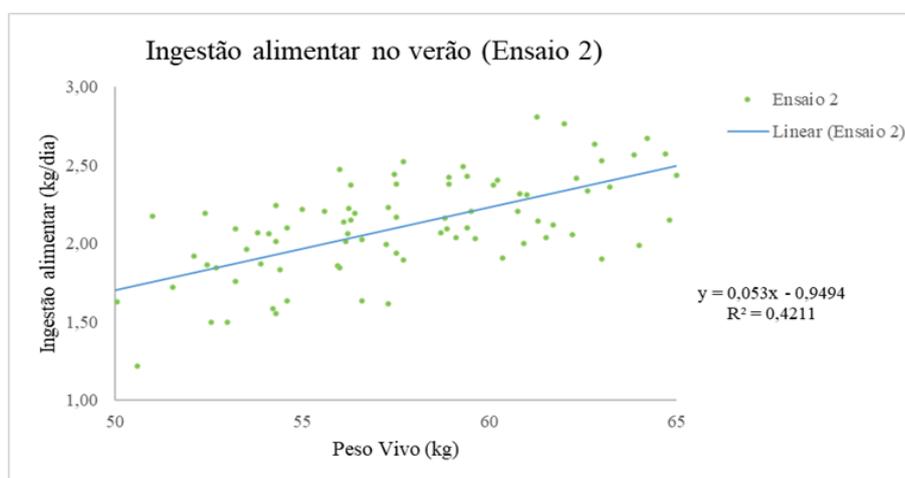


Figura 29 - Evolução da ingestão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 2)

De modo a explicar melhor estes resultados, determinaram-se as equações 5.1 e 5.2:

$$IA(v1) = -0,001 pv^3 + 0,2916 pv^2 - 27,787 pv + 883,02 \quad (R^2 = 0,16) \quad (\text{eq. 5.1})$$

$$IA(v2) = 0,053 pv - 0,9494 \quad (R^2 = 0,42) \quad (\text{eq. 5.2})$$

onde IA (kg/dia) é a ingestão média diária de alimento na situação de verão do ensaio 1 (v1) ou do ensaio 2 (v2) e PV (kg) é o peso vivo dos animais.

Na situação de inverno, a ingestão média diária aumentou, conforme relatado por Cruz (1997), Lefaucheur *et al.*, (1991), Miller (2012), Myer *et al.*, (1998) citado por Myer e Bucklin (2001) e Quiniou *et al.*, (2000). Isto explica-se pelo facto de nas condições de inverno (stress térmico por frio) as perdas de calor dos animais para o ambiente aumentarem. Deste modo, o incremento da produção de calor adicional para compensar essa perda é alcançado através do aumento de consumo de ração (Li e Patience, 2017).

Os resultados da ingestão média diária na situação de inverno enquadraram-se com os referidos por Cruz (1997), Lefaucheur *et al.*, (1991) e Quiniou *et al.*, (2000). No entanto, estes valores foram ligeiramente superiores aos obtidos por Miller (2012). Isto pode justificar-se pelo facto de, no estudo de Miller (2012), o peso médio inicial dos animais ter sido 24kg o que, devido aos animais serem mais pequenos, conduziu a uma ingestão alimentar menor. Por outro lado, estes valores foram menores do que os obtidos por Myer *et al.*, (1998) citado por Myer e Bucklin (2001).

Através da figura 30 é possível verificar que em ambos os ensaios, na situação de inverno, a ingestão média diária de alimento aumentou linearmente (eq. 5.3) com o aumento de peso vivo, estando 1kg de peso vivo associado a 18g de aumento na ingestão média diária.

A equação 5.3 é apresentada da seguinte forma:

$$IA(i) = 0,0177 pv - 1,2825 \quad (R^2 = 0,16) \quad (\text{eq. 5.3})$$

onde IA (kg/dia) é a ingestão média diária de alimento no inverno (i).

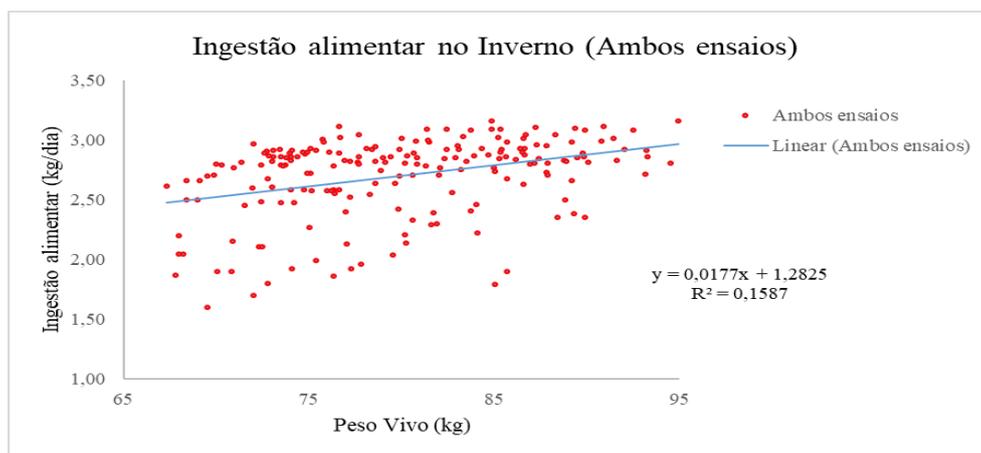


Figura 30 - Evolução da ingestão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno em ambos os ensaios

5.2.2 Ganho médio diário

Em termos gerais, os animais cresceram mais rápido na situação de termoneutralidade nos dois ensaios (conforto térmico). Resultados semelhantes foram obtidos por Christon (1988) citado por Myer e Bucklin (2001), Collin *et al.*, (2001), Fagundes *et al.*, (2008), Kiefer *et al.*, (2009), Manno *et al.*, (2006), Miller (2012), Nichols *et al.*, (1980) citado por Myer e Bucklin (2001), Pearce *et al.*, (2013) e White *et al.*, (2008).

Analisando este período em ambos os ensaios, parece existir um efeito do período de engorda, em relação ao ganho médio diário de peso vivo.

Durante o período de termoneutralidade no ensaio 2 (animais menos pesados), o crescimento dos animais foi linear com o aumento do peso vivo (figura 31), de acordo com a equação 5.4:

$$GMD(t_2) = 0,0303 \, pv - 1,2917 \quad (R^2 = 0,51) \quad (\text{eq. 5.4})$$

onde GMD é o ganho médio diário de peso vivo na termoneutralidade do ensaio 2 (t2).

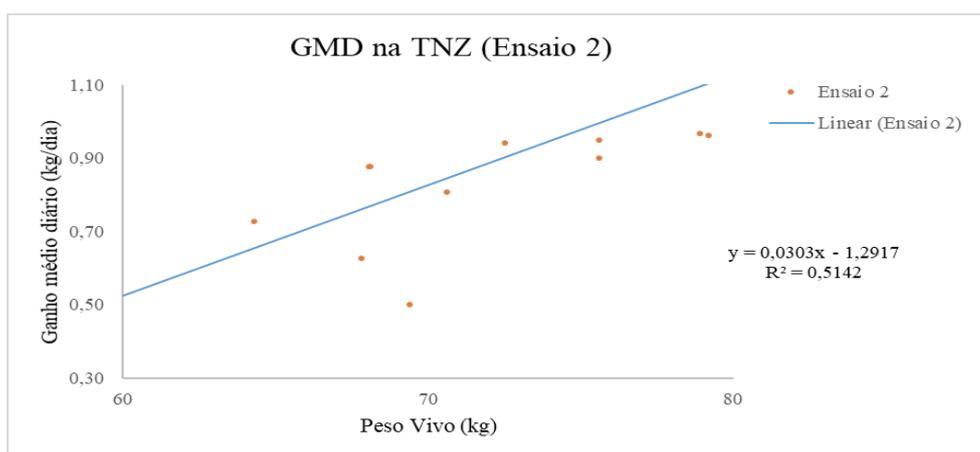


Figura 31 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de termoneutralidade (Ensaio 2)

Por outro lado, de acordo com a equação 5.5, no ensaio 2 (período em que os animais eram mais pesados) a relação entre o ganho médio diário e o peso vivo foi uma relação polinomial de terceiro grau, revelando existir uma tendência para o ganho médio estabilizar com o aumento do peso vivo (figura 32). A equação 5.5 é apresentada da seguinte forma:

$$GMD(t_1) = 0,0003 \, pv^3 - 0,0749 \, pv^2 + 6,7608 \, pv - 202,43 \quad (R^2 = 0,14) \quad (\text{eq. 5.5})$$

onde GMD é o ganho médio diário de peso vivo na termoneutralidade do ensaio 1 (t1).

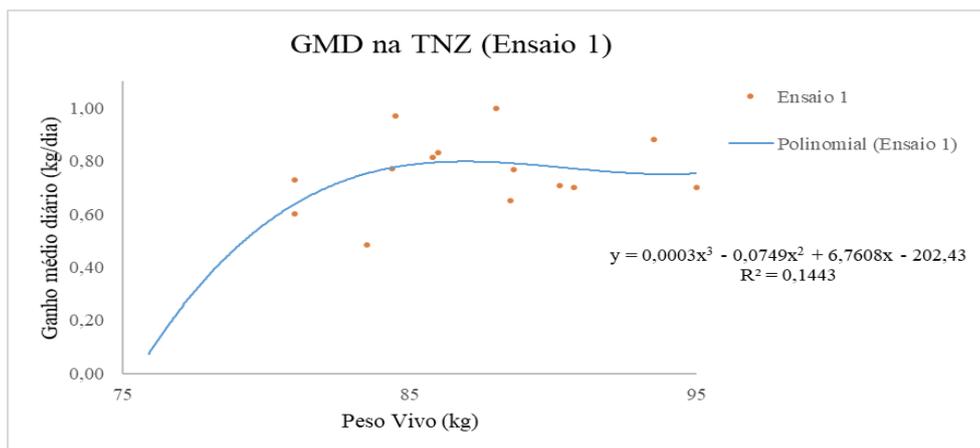


Figura 32 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de termoneutralidade (Ensaio 1)

No ensaio 1, o ganho médio diário atingido pelos animais na situação de verão foi semelhante aos resultados obtidos por Christon (1988) citado por Myer e Bucklin (2001), Collin *et al.*, (2001), Cruz (1997), Fagundes *et al.*, (2008), Kiefer *et al.*, (2009), Lefaucheur *et al.*, (1991), Manno *et al.*, (2006), Miller (2012) e White *et al.*, (2008). Na situação de inverno, o seu valor enquadrava-se com os observados por Cruz, (1997), Lefaucheur *et al.*, (1991) e Miller (2012).

Analisando, em separado, a situação de inverno e de verão no ensaio 1, parece haver uma interação entre a temperatura ambiental e o peso vivo dos animais, em relação ao ganho médio diário.

Durante a situação de inverno (período em que os animais eram menos pesados), a temperatura ambiental situou-se a baixo da temperatura crítica inferior, o que conduziu a uma diminuição da taxa de crescimento dos animais (Li e Patience, 2017; Cruz, 1997) comparativamente com os outros períodos, embora se tenha verificado uma maior ingestão alimentar. Este aumento terá sido utilizado para compensar o incremento das necessidades de manutenção, de modo a que o animal pudesse manter a sua temperatura corporal (Cruz, 1997; Lefaucheur *et al.*, (1991); Miller (2012) e Quiniou *et al.*, (2000). Para explicar melhor estes resultados, determinou-se a equação 5.6:

$$GMD(i1) = 0,0106 pv - 0,1636 \quad (R^2 = 0,05) \quad (\text{eq. 5.6})$$

onde GMD é o ganho médio diário de peso vivo na situação de inverno do ensaio 1 (i1).

Esta equação indica que a relação entre o ganho médio diário e o peso vivo foi linear (figura 33), no entanto o valor de R^2 é significativamente baixo, o que leva a supor que o ganho médio diário será mais dependente de outras variáveis, tais como a temperatura ambiental, confirmando que os animais mais pesados suportam melhor as condições de frio.

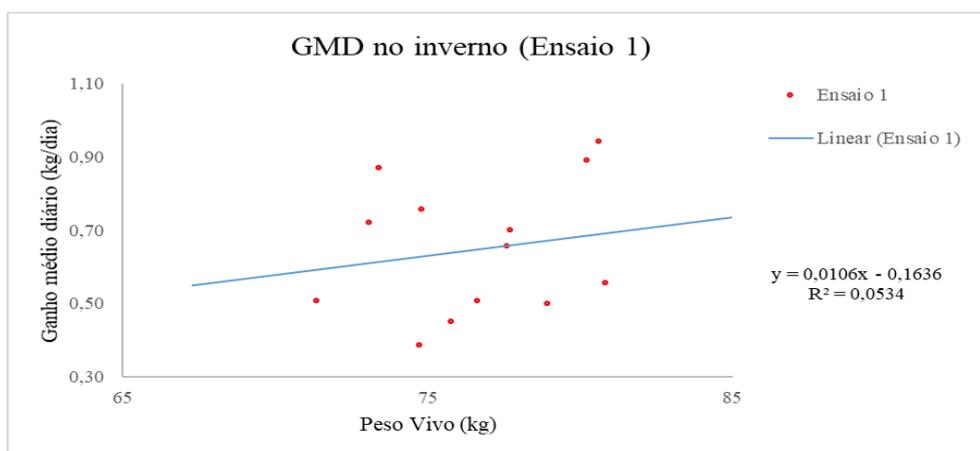


Figura 33 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 1)

Por outro lado, na situação de verão as temperaturas ambientais a que os animais estiveram sujeitos não foram suficientes para provocar desconforto térmico, uma vez que se situavam dentro da zona de neutralidade térmica (Blanes-Vidal e Torres, 2009). Neste sentido, embora a sua ingestão alimentar tenha sido menor, os animais mantiveram as necessidades de manutenção inalteráveis, o que permitiu o crescimento normal dos animais.

A relação entre o ganho médio diário e o peso vivo foi uma relação quadrática (eq. 6.7), revelando existir uma tendência para o ganho médio diário estabilizar com o aumento do peso vivo (figura 34). A equação de regressão que relaciona o ganho médio diário com o peso vivo dos animais é a seguinte:

$$GMD(v1) = -0,0012 pv^2 + 0,254 pv - 12,184 \quad (R^2 = 0,16) \quad (\text{eq. 5.7})$$

onde GMD é o ganho médio diário de peso vivo na situação de verão do ensaio 1 (v1).

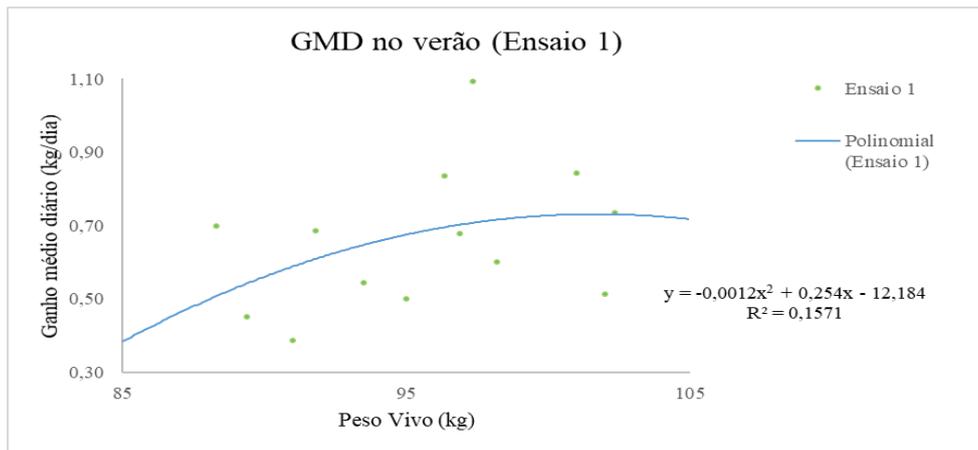


Figura 34 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 1)

No ensaio 2, os animais cresceram a uma taxa superior (5%) na situação de inverno, comparativamente à situação de verão. Resultados semelhantes foram obtidos por Cruz, (1997), Lefaucheur *et al.*, (1991), Miller (2012) e Myer *et al.*, (1998) citado por Myer e Bucklin (2001).

Os valores de ganho médio diário registados na situação de verão estão de acordo com os relatados por Collin *et al.*, (2001), Cruz (1997), Fagundes *et al.*, (2008), Kiefer *et al.*, (2009), Lefaucheur *et al.*, (1991), Manno *et al.*, (2006), Miller (2012) e Myer *et al.*, (1998) e Nichols *et al.*, (1980) citados por Myer e Bucklin (2001). Na situação de inverno, os resultados enquadram-se com os valores médios consultados na bibliografia (Cruz, 1997; Lefaucheur *et al.*, 1991; Miller, 2012; e Myer *et al.*, 1998 citado por Myer e Bucklin 2001).

A análise dos resultados, na simulação de inverno, sugere a existência de uma interação entre o peso vivo e o ganho médio diário. De facto, durante este período, os animais estiveram sujeitos a temperaturas ambientais acima da temperatura crítica inferior (Blanes-Vidal e Torres, 2009), pelo que puderam manter o seu ritmo de crescimento através da sua ingestão alimentar. A equação de regressão que traduz a relação entre o ganho médio diário e o peso vivo dos animais é a seguinte:

$$GMD(i2) = 0,0013 pv^2 - 0,2464 pv + 12,039 \quad (R^2 = 0,08) \quad (\text{eq. 5.8})$$

onde GMD é o ganho médio diário de peso vivo na situação de inverno do ensaio 2 (i2).

Esta equação indica existir uma relação quadrática entre o ganho médio diário e o peso vivo e permite observar que o comportamento do ganho médio diário tende a diminuir e a estabilizar com o aumento do peso vivo (figura 35). Porém, o seu baixo valor de R^2 leva a supor que o ganho médio diário será mais dependente de outras variáveis do que o peso vivo.

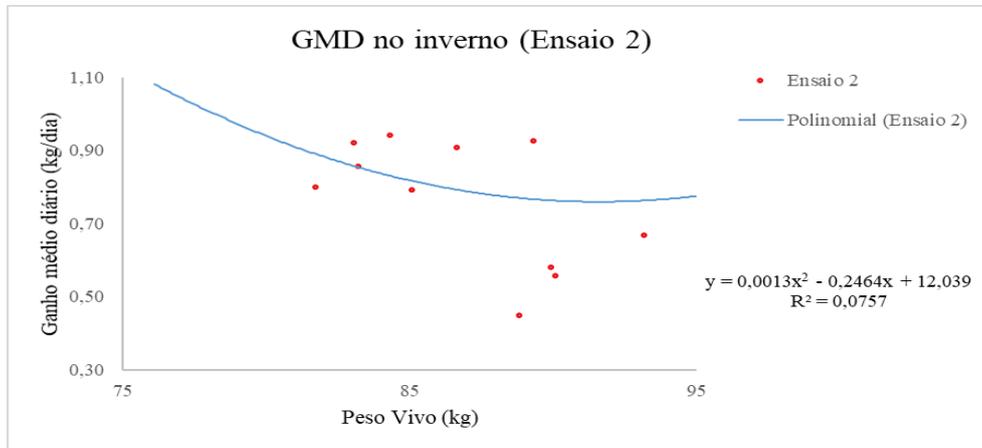


Figura 35 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 2)

Por outro lado, na simulação de verão, parece existir uma interação entre a temperatura ambiental e o peso vivo, em relação ao ganho médio diário. Ao longo desta simulação (período em que os animais eram menos pesados), os animais foram sujeitos a condições ambientais situadas dentro da zona de neutralidade térmica (Blanes-Vidal e Torres, 2009), o que permitiu aumentar as performances de crescimento. A equação 6.9 demonstra o efeito do peso vivo no ganho médio diário:

$$GMD(v2) = -0,0003 pv^3 + 0,0466 pv^2 - 2,5464 pv + 46,67 \quad (R^2 = 0,10) \quad (\text{eq. 5.9})$$

onde GMD é o ganho médio diário de peso vivo na situação de verão do ensaio 2 (v2).

Esta equação indica que, na simulação de verão, os animais aumentaram a sua taxa de crescimento até um determinado ponto, evidenciando-se posteriormente uma tendência a diminuir (figura 36). Esta tendência é explicada pelo efeito das elevadas temperaturas sobre os animais mais pesados. Neste sentido, este resultado permite confirmar que os animais com maior peso vivo suportam pior as condições de calor.

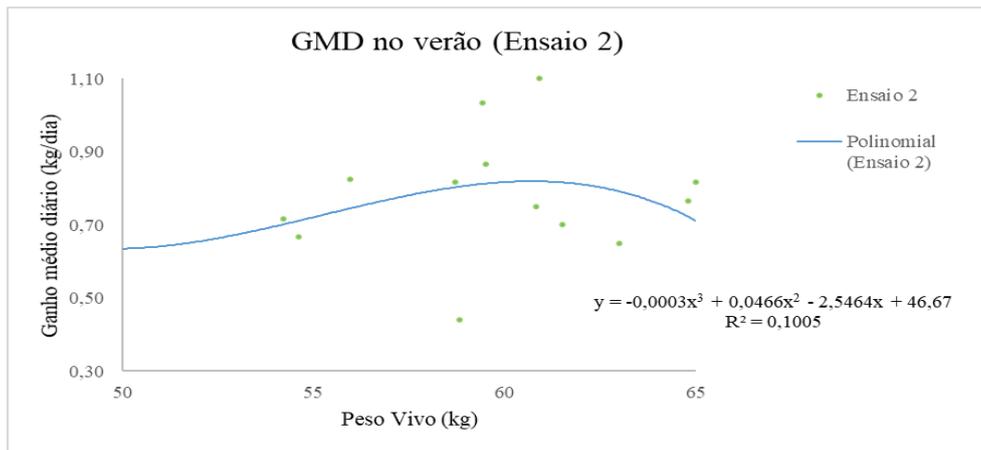


Figura 36 - Evolução do ganho médio diário com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 2)

5.2.3 Índice de conversão alimentar

O índice de conversão alimentar é uma variável produtiva resultante de dois parâmetros discutidos anteriormente. No geral, de acordo com os resultados apresentados pelo *Institut Du Porc* (IFIP-GTE) em 2015, os valores obtidos nos dois ensaios, mas em particular no primeiro, foram mais elevados do que o aceitável para a genética moderna ($\bar{x} = 2,74$ kg/kg).

Em termos globais, o seu valor foi superior na situação de inverno em ambos os ensaios. Resultados semelhantes foram registados por Lefaucheur *et al.*, (1991) e Miller (2012).

O valor médio do índice de conversão alimentar obtido na situação de inverno do ensaio 1 é superior aos referidos nos estudos de Lefaucheur *et al.*, (1991), Miller (2012) e Myer *et al.*, (1998) citado por Myer e Bucklin, (2001), mas enquadra-se no resultado registado por Cruz (1997).

Durante o ensaio 1, na simulação de inverno, as temperaturas ambientais registadas foram inferiores à temperatura crítica inferior dos animais (Blanes-Vidal e Torres, 2009), o que provocou um aumento das perdas de calor para o ambiente e, conseqüentemente, o incremento das suas necessidades de termorregulação. Neste sentido, segundo Cruz (1997), a quantidade de energia metabolizável disponível para o crescimento ficou reduzida devido ao aumento das necessidades de manutenção, o que produziu efeitos no índice de conversão alimentar.

A equação 6.10 mostra o efeito do peso vivo no índice de conversão alimentar:

$$IC(i1) = -0,0102 pv^2 + 1,5429 pv - 54,247 \quad (R^2 = 0,04) \quad (\text{eq. 5.10})$$

onde IC é o índice de conversão alimentar na situação de inverno do ensaio 1 (i1).

Ao longo deste período, é possível perceber através da análise da equação 6.10 que devido ao aumento do peso vivo, os animais conseguem suportar melhor o efeito das baixas temperaturas, o que permite, através de ajustamentos na ingestão alimentar, satisfazer as suas necessidades de crescimento, registando-se desta forma uma tendência para diminuir o índice de conversão alimentar (figura 37). No entanto, o R^2 da equação 6.10 registou um valor relativamente baixo, o que leva a supor que o índice de conversão alimentar será mais dependente de outras variáveis do que o peso vivo.

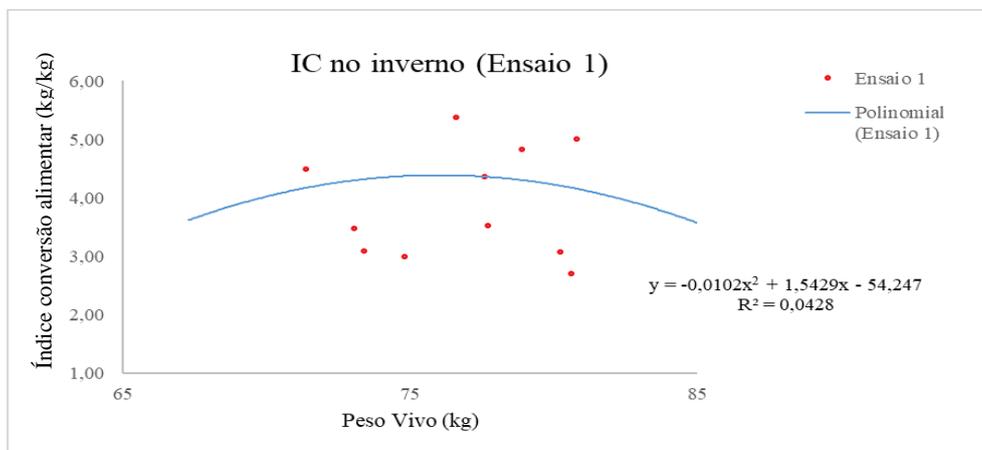


Figura 37 - Evolução do índice de conversão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 1)

Na situação de verão do ensaio 1, o valor médio do índice de conversão alimentar foi equivalente ao observado por Fagundes *et al.*, (2008) no período de engorda (111 a 149 dias). No entanto, nos trabalhos de Collin *et al.*, (2001), Lefaucheur *et al.*, (1991), Manno *et al.*, (2006), Miller (2012), Pearce *et al.*, (2013) e Kiefer *et al.*, (2009) verificaram-se índices de conversão alimentar inferiores. Isto pode explicar-se pelo facto de os animais utilizados nestes estudos serem mais leves, o que resulta numa menor ingestão alimentar, um menor ganho médio diário e, conseqüentemente, um menor índice de conversão alimentar. Por outro lado, Christon, (1988) citado por Myer e Bucklin (2001), Cruz (1997), Hsia e Lu (2004), Nichols *et al.*, (1980) citado por Myer e Bucklin (2001), Myer *et al.*, (1998) citado por Myer e Bucklin, (2001) e White *et al.*, (2008) desenvolveram trabalhos

com animais com pesos semelhantes aos utilizados neste estudo e reportaram valores superiores aos registados.

Embora o melhor índice de conversão se tenha verificado na situação de verão, este valor foi muito similar ao obtido na simulação de termoneutralidade. Resultados semelhantes foram observados nos estudos de Fagundes *et al.*, (2008), durante o período de engorda (111 a 149 dias), Manno *et al.*, (2006) e de White *et al.*, (2008). Isto pode explicar-se pelo facto de, apesar de os animais serem mais pesados na situação de verão, as temperaturas ambientais sentidas não terem sido suficientemente elevadas para causar desconforto térmico (Blanes-Vidal e Torres, 2009), pelo que as necessidades de manutenção diminuíram e a energia disponível para o crescimento aumentou, o que se traduziu numa melhor eficiência alimentar. Este resultado sugere existir uma interação entre a temperatura ambiental e o peso vivo dos animais, em relação ao índice de conversão alimentar.

Neste sentido, de acordo com a equação 5.11, a relação entre o índice de conversão alimentar e o peso vivo foi uma relação polinomial de terceiro grau, revelando existir uma tendência para o índice de conversão diminuir, devido ao efeito das temperaturas ambientais, e estabilizar com o aumento do peso vivo (figura 38). A equação 5.11 é apresentada da seguinte forma:

$$IC(v1) = -0,0018 pv^3 - 0,5274 pv^2 + 52,554 pv - 1747,4 \quad (R^2 = 0,33) \quad (\text{eq. 5.11})$$

onde IC é o índice de conversão alimentar na situação de verão do ensaio 1 (v1).

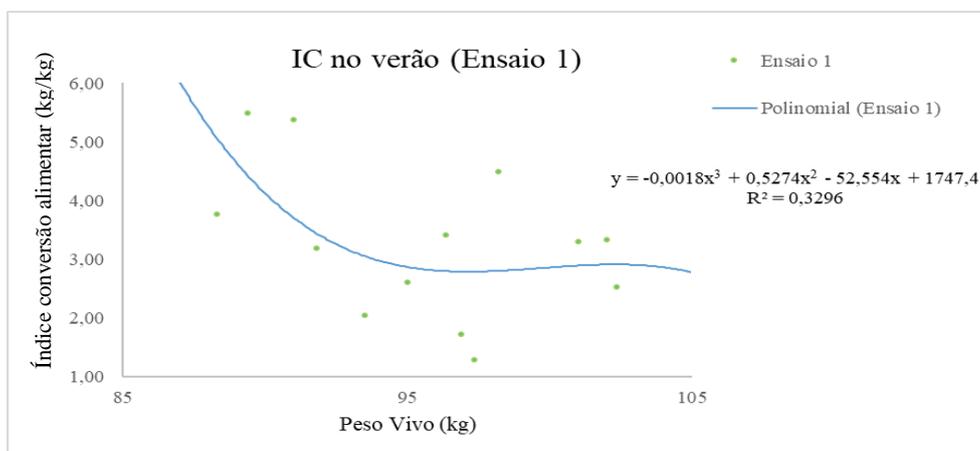


Figura 38 - Evolução do índice de conversão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 2)

No entanto, ao ajustar estes valores para o peso, o resultado revela que o melhor índice de conversão se obteve na simulação de termoneutralidade (3,33 kg/kg). Este resultado vai de encontro aos obtidos por Collin *et al.*, (2001), Fagundes *et al.*, (2008) durante o período de crescimento (73 a 110 dias), Miller (2012), Kiefer *et al.*, (2009) e White *et al.*, (2008).

No ensaio 2, o melhor índice de conversão alimentar foi verificado na situação de termoneutralidade (conforto térmico), uma vez que os animais utilizaram com maior eficiência o alimento ingerido. Resultados semelhantes foram referidos por vários investigadores (Christon, 1988 citado por Myer e Bucklin, 2001; Collin *et al.*, 2001; Fagundes *et al.*, 2008; Miller, 2012; Kiefer *et al.*, 2009 e White *et al.*, 2008). O valor médio registado na situação de termoneutralidade do ensaio 2 foi superior ao observado nos estudos de Collin *et al.*, (2001), Manno *et al.*, (2006), Miller (2012), Pearce *et al.*, (2013) e Kiefer *et al.*, (2009). Isto poderá ser explicado pelo facto de os animais nestes estudos serem mais leves, o que resulta numa menor ingestão alimentar, um menor ganho médio diário e, conseqüentemente, um menor índice de conversão alimentar. Por outro lado, este valor foi inferior ao obtido nos trabalhos de Christon (1988) citado por Myer e Bucklin (2001), Fagundes *et al.*, (2008) durante o período de engorda, Hsia e Lu (2004), Myer *et al.*, (1998) citado por Myer e Bucklin, (2001), Nichols *et al.*, (1980) e White *et al.*, (2008). Isto poderá explicar-se pela composição da dieta utilizada nos diferentes ensaios.

Os resultados registados na situação de verão foram equivalentes aos referidos por Lefaucheur *et al.*, (1991). No entanto, nos trabalhos de Collin *et al.*, (2001), Fagundes *et al.*, (2008) durante o período de crescimento, Manno *et al.*, (2006), Miller (2012) e Kiefer *et al.*, (2009) os valores de índice de conversão obtidos foram inferiores. Por sua vez, Christon (1988) citado por Myer e Bucklin (2001), Cruz (1997), Fagundes *et al.*, (2008) durante o período de engorda, Hsia e Lu (2004), Myer *et al.*, (1998) citado por Myer e Bucklin, (2001), Nichols *et al.*, (1980) e White *et al.*, (2008) relataram valores superiores.

Os valores de índice de conversão obtidos na situação de verão foram semelhantes aos obtidos na situação de termoneutralidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Fagundes *et al.*, (2008) e Manno *et al.*, (2006), que verificaram que suínos, na fase de crescimento, expostos a altas temperaturas apresentam melhor eficiência alimentar do que em conforto térmico.

Para além disso, apesar da ingestão alimentar em condições de verão diminuir, os animais conseguem ter uma eficiência alimentar elevada, uma vez que os mecanismos de

arrefecimento dos suínos a estas temperaturas são, na sua maioria, comportamentais e não fisiológicos (não existem gasto de energia nestes processos) (Cruz, 1997; Manno *et al.*, 2006; e Kiefer *et al.*, 2009) (figura 39).

Esta interação entre a temperatura ambiental e o peso vivo, em relação ao índice de conversão alimentar é explicada através da equação 5.12, onde se verifica um efeito quadrático do peso vivo no índice de conversão:

$$IC(v2) = 0,0068 pv^2 - 0,7193 pv + 21,451 \quad (R^2 = 0,27) \quad (\text{eq. 5.12})$$

onde IC é o índice de conversão alimentar na situação de verão do ensaio 2 (v2).

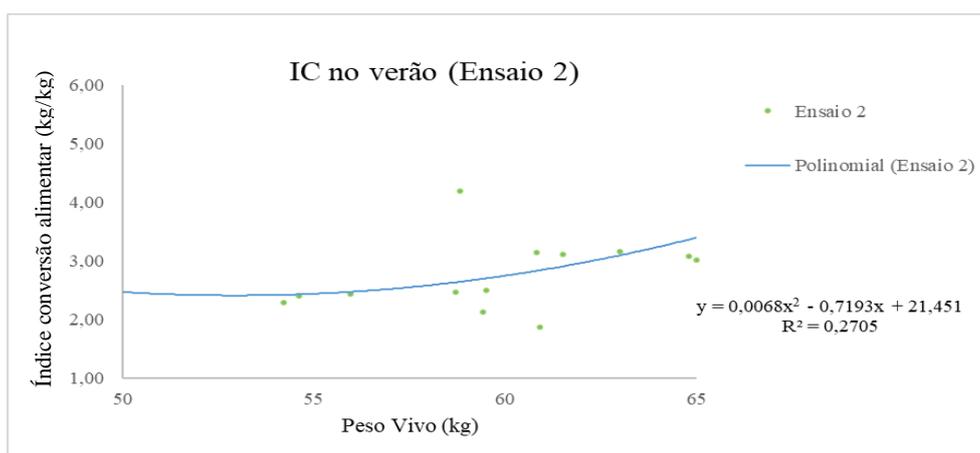


Figura 39 - Evolução do índice de conversão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de verão (Ensaio 2)

Na simulação de inverno registou-se o maior índice de conversão alimentar (Lefaucheur *et al.*, 1991 e Miller, 2012). Este efeito era espectável uma vez que os animais, embora tenham aumentado a sua ingestão alimentar durante este período, diminuiram a sua taxa de crescimento com o aumento de peso vivo. Estes resultados sugerem existir uma interação entre o índice de conversão alimentar e o peso vivo. A equação que traduz esta relação é expressa da seguinte forma:

$$IC(i2) = -0,01 pv^2 + 1,851 pv - 81,456 \quad (R^2 = 0,15) \quad (\text{eq. 5.13})$$

onde IC é o índice de conversão alimentar na situação de inverno do ensaio 2 (v2).

Através da equação 5.13 é possível compreender que a um aumento de peso vivo está associado um aumento do índice de conversão alimentar. Ou seja, o animal apresenta maiores dificuldades em utilizar eficientemente os alimentos queingere ao longo do seu crescimento (figura 40), verificando-se desta forma uma tendência para que o índice de conversão alimentar aumente e estabilize com o aumento de peso vivo.

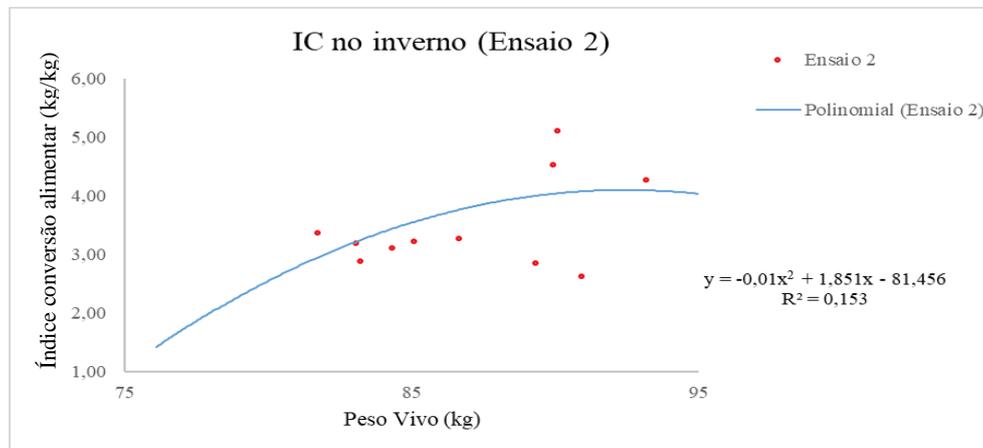


Figura 40 - Evolução do índice de conversão alimentar com o peso vivo dos suínos na simulação de inverno (Ensaio 2)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo a perceber como se monitorizam os parâmetros ambientais foi realizado um trabalho de pesquisa bibliográfica onde se pode concluir que os parâmetros ambientais existentes no interior das instalações pecuárias, tais como a temperatura, humidade, velocidade do ar, qualidade do ar, luminosidade e nível de ruído possuem uma elevada influência sobre os animais, com impacto no seu *status* comportamental, fisiológico e imunológico, bem como nas suas performances zootécnicas.

Deste modo, a par das necessidades de índole nutricional e sanitárias dos suínos, estes apresentam requisitos de modo a que a sua produtividade seja maximizada, tendo a engenharia e o controle do ambiente, como objetivo, a realização das condições ambientais requisitadas.

Esta modificação ambiental é geralmente efetuada por sistemas de ventilação (natural ou mecânica), aquecedores suplementares para condições de frio e equipamentos de arrefecimento para condições de altas temperaturas. O conhecimento do balanço térmico de uma construção é fundamental, uma vez que possibilita quantificar as necessidades de aquecimento e de arrefecimento.

A monitorização e o controlo destes sistemas de climatização são feitos através de controladores ambientais. No entanto, a maioria dos controladores ambientais existentes utilizam pontos de ajuste de variáveis ambientais, derivados de uma combinação de pequenas experiências de laboratório, que se supõe serem ótimas para um animal. Porém, esta abordagem simplifica demasiado as interações (complexas) entre um animal e seu ambiente. Neste sentido, surge a necessidade de alternativas para a aquisição de informação nas explorações pecuárias, onde os sistemas da zootecnia de precisão se assumem como uma promissora ferramenta, uma vez que permitem avaliar o *feedback* entre o animal e o ambiente.

Estas ferramentas aliadas aos sistemas de monitorização e controlo existentes, permitiram desenvolver sistemas de controlo e alerta que permitem medir eletronicamente os componentes críticos dos sistemas de produção (eficiência do uso dos recursos), interpretar as informações recolhidas através de ferramentas de software e, deste modo, garantir a produtividade animal ideal através do controlo dos processos (tempo real).

De modo a analisar a importância dos parâmetros ambientais na produção e bem-estar de suínos foi realizado um trabalho experimental, onde se pode concluir que de modo

geral, os parâmetros ambientais interiores, nomeadamente a temperatura ambiente, revelaram a sua importante influência sobre as performances do suíno em fase de crescimento e engorda.

Na situação de termoneutralidade, quando a temperatura ambiente se situou dentro da zona de neutralidade térmica, assistiu-se, mediante uma ingestão alimentar *ad libitum*, à melhor taxa de crescimento e ao melhor índice de conversão alimentar.

Na situação de inverno, quando a temperatura ambiente se situou próxima, ou abaixo, da temperatura crítica inferior verificou-se um incremento da ingestão alimentar, uma diminuição da taxa de crescimento e um aumento do índice de conversão alimentar.

Na situação de verão, quando a temperatura ambiente se aproximou da temperatura crítica superior, registou-se uma diminuição da ingestão alimentar, da taxa de crescimento e do índice de conversão alimentar. Estes efeitos foram mais evidentes quando os animais eram mais pesados.

Os dados obtidos neste trabalho não foram muito consistentes devido às limitações dos equipamentos de condicionamento ambiental e também ao número de animais em cada ensaio, o que pode ter conduzido a coeficientes de determinação das equações de regressão relativamente baixos. Deste modo, no âmbito do projeto AWARTECH, onde esta dissertação se encontra baseada, existem estudos complementares e sequenciais em desenvolvimento, que visam dar maior consistência aos resultados encontrados neste trabalho.

No entanto, é possível perceber que os animais melhoram as suas performances produtivas quando se encontram em equilíbrio térmico. Neste sentido, para que o ambiente térmico varie dentro dos valores recomendados, torna-se necessário atuar ao nível do condicionamento ambiental das construções, onde a existência de sistemas de controlo ambiental avançados que monitorizem, controlem e atuem, em tempo real, permitam melhorar, significativamente, a eficiência produtiva das empresas pecuárias na medida em que seja possível:

- (i) Detetar, de forma contínua, os parâmetros ambientais interiores e as respostas comportamentais dos animais ao ambiente térmico;
- (ii) Armazenar dados;

(iii) Interpretar dados através de modelos de simulação biológica que permitam, em tempo real, prever o resultado dinâmico de cada variável em função da variação das condições ambientais;

(iv) Através de um sistema de controlo *online* modificar automaticamente o microambiente animal em situações em que os limites críticos sejam ultrapassados.

BIBLIOGRAFIA

- Aarnink, A. J. A., & Verstegen, M. W. A. (2007). Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science*, 109(1-3), 194-203.
- Albright, L. (1990). *Environment control for animals and plants*. St. Joseph, Michigan: Pamela De Vore-Hansen.
- Aleixandre, M., & Gerboles, M. (2012). Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas. *Chem. Eng. Trans*, 30.
- Gomes, P. A. M. V. (2015). *Utilização de sensores de baixo custo na medição de monóxido de carbono no ar ambiente* (Dissertação de estrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto).
- Babot, D. & Revuelta, M. (2009). Necesidades Funcionales. In *Ganado Porcino: Diseño de alojamientos e instalaciones*. Ed. Grupo Asis Biomedica, S.L., ch:2, 38-69. Zaragoza: Servet editorial.
- Baêta, F.C. & Souza, C.F. (2010). *Ambiência em Edificações Rurais: Conforto Animal*. Viçosa, Mg; Brasil: UFV.
- Banhazi, T. M. (2009). User friendly air quality monitoring system. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(2), 281-290.
- Banhazi, T. M. & Black, J. L. (2009). Livestock Farming: A suite of electronic systems to ensure the application of best practice management on livestock farms. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 7(1).
- Banhazi, T. M., Rutley, D., Parkin, B. J., & Lewis, B. (2009). Field evaluation of a prototype sensor for measuring feed disappearance in livestock buildings. *Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering*, 7(1), 27-38.
- Banhazi, T. M., Tscharke, M., Ferdous, W. M., Saunders, C., & Lee, S. H. (2011). Improved image analysis based system to reliably predict the live weight of pigs on farm: Preliminary results. *Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering*, 8(2), 107-119.
- Baptista, R. I. A. de A., Bertani, G. R., & Barbosa, C. N. (2011). Indicadores do bem-estar em suínos, *Ciência Rural*, 41(10), 1823–1830.

- Baptista, F. & Meneses, J. F. (1997). Ventilação natural de instalações pecuárias. *Revista Portuguesa de Zootecnia*, (2), 73–97.
- Barcellos, D. E. S. N. D., Borowski, S. M., Gheller, N. B., Santi, M., & Mores, T. J. (2008). Relação entre ambiente, manejo e doenças respiratórias em suínos. *Acta scientiae veterinariae. Porto Alegre*.
- Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties*, 33(1), 189-196.
- Blanes-Vidal, V. & Torres A.G., (2009). Diseño y evaluación de la calefacción y de la refrigeración. In *Ganado Porcino: Diseño de alojamientos e instalaciones*. Ed. Grupo Asis Biomedica, S.L., ch:5, 148-215. Zaragoza: Servet editorial.
- Borges, G. (2008). Utilização da pressão sonora (ruído) como indicativo de bem-estar animal na produção industrial de suínos. (Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Piracicaba – Brasil).
- Brandl, N., & Jørgensen, E. (1996). Determination of live weight of pigs from dimensions measured using image analysis. *Computers and electronics in agriculture*, 15(1), 57-72.
- Brehme, U., Stollberg, E., Holz, R., & Schleusener, T. (2004). Safer oestrus detection with sensor aided ALT-pedometer. In *Third Internatl. Wkshp. on Smart Sensors in Livestock Monitoring Proc., Sept. 10–11, Leuven, Belgium*.
- Broom, D. M., & Johnson, K. G. (1993). Assessing welfare: Short-term responses. In *Stress and animal welfare* (pp. 87-110). Springer, Dordrecht.
- Broom, D. M., & Molento, C. F. M. (2004). Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas – revisão. *Archives of Veterinary Science*, 9(2), 1–11.
- Brown-Brandl, T. M., Rohrer, G. A., & Eigenberg, R. A. (2013). Analysis of feeding behavior of group housed growing–finishing pigs. *Computers and electronics in agriculture*, 96, 246-252.
- Castell, N., Viana, M., Minguillón, M. C., Guerreiro, C., & Querol, X. (2013). Real-world application of new sensor technologies for air quality monitoring. *ETC/ACM Technical Paper*, 16.

- Chapinal, N., Ruiz-de-la-Torre, J. L., Cerisuelo, A., Baucells, M. D., Gasa, J., & Manteca, X. (2008). Feeder use patterns in group-housed pregnant sows fed with an unprotected electronic sow feeder (Fitmix). *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 11(4), 319-336.
- Collin, A., van Milgen, J., Dubois, S., & Noblet, J. (2001). Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. *British Journal of Nutrition*, 86(1), 63-70.
- Cossins, A. R. & Bowler, K. (1987). Body temperature in tachymetabolic animals. In *Temperature Biology of Animals*. Ed. Chapman and Hall., ch:4, 98-152. New York, USA.
- Costa, M. R. (2015). *Avaliação do bem-estar em porcos de engorda na exploração e no matadouro*. (Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina Veterinária, Lisboa).
- Cruz, V. F. (1997). *Influência da estação do ano sobre as performances do porco em fase de crescimento e acabamento. Sua relação com a densidade de alojamento e a concentração energética da dieta*. (Tese de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora).
- Cruz, V.F. & Baptista, F. J. (2006). Conceitos básicos sobre ventilação no alojamento de suínos. *Revista Suinicultura* 72. 40-48.
- de Oliveira Júnior, A. J., de Souza, S. R. L., da Cruz, V. F., Vicentin, T. A., & Glavina, A. S. G. (2018). Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 175-184.
- Decreto-lei 135/2003 de 28 de Junho, Diário da República nº147, I Série-A, Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas.
- Diosdado, J. A. V., Barker, Z. E., Hodges, H. R., Amory, J. R., Croft, D. P., Bell, N. J., & Codling, E. A. (2015). Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system. *Animal Biotelemetry*, 3(1), 15.
- Doebelin, E. O., & Manik, D. N. (2007). Measurement systems: application and design.
- Dupjan, S., Schon, P., Puppe, B., Tuchscherer, A., & Manteuffel, G. (2008). Differential vocal responses to physical and mental stressors in domestic pigs (*Sus scrofa*). *Applied Animal Behaviour Science*, 114, 105–115.

- Eigenberg, R. A., Bucklin, R. A. & Brown-brandl, T. M. (2009). Chapter 6: : Instrumentation for Research and Management in Animal Agriculture. In *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management*. Ed. J. A. DeShazer, ch:6, 131–149. Moscow, Idaho, USA: ASABE
- Eigenberg, R. A., Brown–Brandl, T., & Nienaber, J. A. (2002). Development of a respiration rate monitor for swine. *Transactions of the ASAE*, 45(5), 1599.
- Eigenberg, R. A., Hahn, G. L., Nienaber, J. A., Brown-Brandl, T. M., & Spiers, D. E. (2000). Development of a new respiration rate monitor for cattle. *Transactions of the ASAE*, 43(3), 723.
- Enevoldsen, C., & Kristensen, T. (1997). Estimation of body weight from body size measurements and body condition scores in dairy cows. *Journal of dairy science*, 80(9), 1988-1995.
- Escobet, J., Collell, M. & Marco, E., (2009). El control práctico del sistema de climatización. In *Ganado Porcino: Diseño de alojamientos e instalaciones*. Ed. Grupo Asis Biomedia, S.L., ch:6, 224-257. Zaragoza: Servet editorial.
- Fabian-Wheeler, E. (2012). Evaluating air quality in livestock housing environments. Air quality education in animal agriculture. *eXtension*, 14.
- Fagundes, A. C. A., Da Silva, R. G., Gomes, J. D. F., De Oliveira Souza, L. W., & Fukushima, R. S. (2009). Influence of environmental temperature, dietary energy level and sex on performance and carcass characteristics of pigs. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 32-39.
- Fournel, S., Pelletier, F., Godbout, S., Lagacé, R., & Feddes, J. J. R. (2012). Odour emissions, hedonic tones and ammonia emissions from three cage layer housing systems. *Biosystems Engineering*, 112(3), 181-191.
- Fournel S., Rousseau, A. N. & Laberge, B. (2017). Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. *Biosystems Engineering* 155. 96-123.
- Frost, A. R., Schofield, C. P., Beulah, S. A., Mottram, T. T., Lines, J. A., & Wathes, C. M. (1997). A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and electronics in agriculture*, 17(2), 139-159.

- Fuentes, J.L. (1992). *Construcciones para la agricultura y la ganadería*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Gates, R. S., Turner, L. W., Chi, H., & Usry, J. L. (1995). Automated weighing of group-housed, growing-finishing swine. *Transactions of the ASAE*, 38(5), 1479-1486.
- Hahn, G. L., Gaughan, J. B., Mader, T. L. & Eigenberg, R. A. (2009). Chapter 5: Thermal Indices and Their Applications for Livestock Environments. In *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management*. Ed. J. A. DeShazer, ch:5, 113-130. Moscow, Idaho, USA: ASABE
- Heinrichs, A. J., Rogers, G. W., & Cooper, J. B. (1992). Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. *Journal of dairy science*, 75(12), 3576-3581.
- Henken, A.M., Brandsma, H.A., Van de Hel, W., & Werstegen, M.W.A. (1993). Circadian rhythm in head production of limit-fed growing pigs of several breeds kept at and below thermal neutrality. *Journal of Animal Science*, 71, 1434-1440.
- Hillman, P. E., Gebremedhin, K. G., Aneshansley, D., & Landers, A. (2000). Design of a new cooling system for dairy cows in freestall facilities. *Design of a new cooling system for dairy cows in freestall facilities.*, 1-11.
- Hsia, L. C., & Lu, G. H. (1987). Performance of three way crossed pigs under hot and moderate cold environment. *World review of animal production*.
- Hsia, L. C., & Lu, G. H. (2004). The effect of high environmental temperature and nutrient density on pig performance, conformation and carcass characteristics under restricted feeding system. *Asian-australasian journal of animal sciences*, 17(2), 250-258.
- IFIP-GTE. (2015). GTE : Evolution des résultats moyens nationaux – post-sevreurs-engraisseurs. Disponível em: <https://www.ifip.asso.fr/PagesStatics/resultat/pdf/retro/gte04.pdf>
- Ingram, D. L. (1965). The effect of humidity on temperature regulation and cutaneous water loss in young pig. *Research in Veterinary Science*, 6, 9-17
- Inoue K. R. A., Souza, C. F., Sousa, M. S., Sousa, F. C. & Leite, F. F. G. D. (2012). Técnicas para minimizar a emissão de gases na suinicultura. In *Atas do Simpósio de Construções rurais e ambientes protegidos*. Viçosa, Mg, Brasil. (pp. 294-297).

- INRA. (1984). L' alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. INRA, Paris.
- Jacquinet, P., Hodgson, A. W., Hauser, P. C., Müller, B., & Wehrli, B. (1999). Amperometric detection of gaseous ethanol and acetaldehyde at low concentrations on an Au–Nafion electrode. *Analyst*, 124(6), 871-876.
- Janata, J. (2010). *Principles of chemical sensors*. Springer Science & Business Media.
- Kashiha, M., Bahr, C., Haredasht, S. A., Ott, S., Moons, C. P., Niewold, T. A., ... & Berckmans, D. (2013). The automatic monitoring of pigs water use by cameras. *Computers and Electronics in Agriculture*, 90, 164-169.
- Kiefer, C., Meignen, B. C. G., Sanches, J. F., & Carrijo, A. S. (2009). Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. *Archivos de Zootecnia*, 58(221), 55-64.
- Koenders, E., Rooijackers, L., Hertem, T. Van, Vranken, E., Berckmans, D. & Berckmans, D. (2015). Towards the development of a practical visualisation tool for farmers and other stakeholders. In *Berckmans, D.(Ed.), Precision Livestock Farming'15. European Conference on Precision Livestock Farming. Milano, Italy* (pp. 327-337).
- Kollis, K., Phang, C. S., Banhazi, T. M., & Searle, S. J. (2007). Weight estimation using image analysis and statistical modelling: A preliminary study. *Applied engineering in agriculture*, 23(1), 91-96.
- Kovács, L., Jurkovich, V., Bakony, M., Szenci, O., Póti, P., & Tózsér, J. (2014). Welfare implication of measuring heart rate and heart rate variability in dairy cattle: literature review and conclusions for future research. *Animal*, 8(2), 316-330.
- Kristensen, H. H., Aerts, J. M., Leroy, T., Wathes, C. M., & Berckmans, D. (2006). Modelling the dynamic activity of broiler chickens in response to step-wise changes in light intensity. *Applied animal behaviour science*, 101(1-2), 125-143.
- Kuczynski, T., Blanes-Vidal, V., Li, B., Gates, R. S., de Alencar Naas, I., Moura, D. J., ... & Banhazi, T. M. (2011). Impact of global climate change on the health, welfare and productivity of intensively housed livestock. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 4(2), 1-22.

- Kwon, K. S., Lee, I. B. & T. H. (2016). Identification of key factors for dust generation in a nursery pig house and evaluation of dust reduction efficiency using a CFD technique. *Biosystems Engineering* 151, 28-52.
- Lee, D. H. K. (1965). Climatic Stress Indices for Domestic Animals. *Int. J. Biometeor.*, 9(1), 29–35.
- Lefaucheur, L., Le Dividich, J., Mourot, J., Monin, G., Ecolan, P., & Krauss, D. (1991). Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. *Journal of animal Science*, 69(7), 2844-2854.
- Lefcourt, A. M., Erez, B., Varner, M. A., Barfield, R., & Tasch, U. (1999). A noninvasive radiotelemetry system to monitor heart rate for assessing stress responses of bovines. *Journal of dairy science*, 82(6), 1179-1187.
- Li, Z., Luo, C., Teng, G., & Liu, T. (2013). Estimation of pig weight by machine vision: A review. In *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. Springer, Berlin, Heidelberg* (pp. 42-49).
- Li, Q., & Patience, J. F. (2017). Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 233, 22-33.
- Manno, M. C., Oliveira, R. D., Donzele, J. L., Oliveira, W. D., Vaz, R. G. M. V., Silva, B. A. N., ... & LIMA, K. D. S. (2006). Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(2), 471-477.
- Manteuffel, G., Puppe, B., e Schön, P. C. (2004). Vocalization of farm animals as a measure of welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 88, 163–182
- Marchant-Forde, R. M., Marlin, D. J., & Marchant-Forde, J. N. (2004). Validation of a cardiac monitor for measuring heart rate variability in adult female pigs: accuracy, artefacts and editing. *Physiology & behavior*, 80(4), 449-458.
- Martelli, G., Nannoni, E., Grandi, M., Bonaldo, A., Zaghini, G., Vitali, M., ... & Sardi, L. (2015). Growth parameters, behavior, and meat and ham quality of heavy pigs subjected to photoperiods of different duration. *Journal of animal science*, 93(2), 758-766.
- Mader, T. L., Davis, M. S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(3), 712-719.

- Maselyne, J., Saeys, W. e Nuffel, A. Van. (2015). Review : Quantifying animal feeding behaviour with a focus on pigs. *Physiology & Behavior*, 138, 37–51.
- Meneses, J. F. S. (1985). *Ventilação natural controlada automaticamente em instalações para suínos*. (Tese de doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.)
- Miller, T. G. (2012). Swine feed efficiency: influence of temperature. *Iowa Pork Industry Center Fact Sheets*. 11.
- Morrow-Tesch, J. L., McGlone, J. J., & Salak-Johnson, J. L. (1994). Heat and social stress effects on pig immune measures. *Journal of animal science*, 72(10), 2599-2609.
- Müller, R., & Schrader, L. (2003). A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 83(4), 247-258.
- Myer, R., & Bucklin, R. (2001). Influence of hot-humid environment on growth performance and reproduction of swine. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/AN/AN10700.pdf>.
- Nascimento, G. R., Nääs, I. A., Pereira, D. F., Baracho, M. S., & Garcia, R. (2011). Assessment of broiler surface temperature variation when exposed to different air temperatures. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 13(4), 259-263.
- Navas, L. M., Baptista, F., Guimarães, A. C., González, F., Sanz, J. F. & Cruz, V. F. (2010). *Auditorías Energéticas en Instalaciones Ganaderas Parte 1: Manual para la realización de auditorías energéticas en instalaciones ganaderas*. (IDAE, Ed.). Madrid: IDAE -Instuto para la diversificación y Ahorro de la Energía.
- National Research Council. (1971). *A guide to environmental research on animals*. National Academies.
- Ouellet, V., Vasseur, E., Heuwieser, W., Burfeind, O., Maldague, X., & Charbonneau, É. (2016). Evaluation of calving indicators measured by automated monitoring devices to predict the onset of calving in Holstein dairy cows. *Journal of dairy science*, 99(2), 1539-1548.
- Pandorfi, H., Silva, I. D., Carvalho, J. D., & Piedade, S. M. S. (2006). Estudo do comportamento bioclimático de matrizes suínas alojadas em baias individuais e coletivas, com ênfase no bem-estar animal na fase de gestação. *Engenharia Rural*, 17(1), 1-10.

- Pandorfi, H., Almeida, G. L. P., & Guiselini, C. (2012). Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 13(2).
- Pearce, S. C., Gabler, N. K., Ross, J. W., Escobar, J., Patience, J. F., Rhoads, R. P., & Baumgard, L. H. (2013). The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *Journal of animal science*, 91(5), 2108-2118.
- Pedroso, L. S., Macêdo, J. A. D., Araújo, M. S. T. D., & Voelzke, M. R. (2016). Construction of a low-cost luximeter. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(2).
- Puigdomènech, L., Revuelta M. & Babot, D. (2009). La ventilación en los alojamientos porcinos. In *Ganado Porcino: Diseño de alojamientos e instalaciones*. Ed. Grupo Asis Biomedica, S.L., ch:4, 108-146. Zaragoza: Servet editorial.
- Quiniou, N., Dubois, S., & Noblet, J. (2000). Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science*, 63(3), 245-253.
- Renaudeau, D., Gourdine, J. L., & St-Pierre, N. R. (2011). A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 89(7), 2220-2230.
- Salvador, A. & Vidal, V. (2004). *Tecnología de la producción animal: Diseño de alojamientos I*. Valencia: Editorial UPV
- Sampaio, C. A. D. P. (2004). *Caracterização dos ambientes térmico, aéreo e acústico em sistemas de produção de suínos, nas fases de creche e terminação*. (Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas).
- Sampaio, C. A. D. P., de Alencar Nääs, I., & Salgado, D. D. A. (2006). Ammonia, hydrogen sulfide, methane and carbon monoxide in swine production. *Revista de Ciências Agroveterinárias (Journal of Agroveterinary Sciences)*, 5(2), 156-164.
- Sellier, N., Guettier, E., & Staub, C. (2014). A review of methods to measure animal body temperature in precision farming. *American Journal of Agricultural Science and Technology*, 2(2), 74-99.

- Shao, B. & Xin, H. (2008). A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs, *Computers and electronics in agriculture*, 62(1), 15-21.
- Stärk, K. D. (2000). Epidemiological investigation of the influence of environmental risk factors on respiratory diseases in swine—a literature review. *The Veterinary Journal*, 159(1), 37-56.
- Stetter, J. R., & Li, J. (2008). Amperometric gas sensors a review. *Chemical reviews*, 108(2), 352-366.
- Stone, B. A. & Heap, P. A. (1982). Growth and estimated net balance of pigs raised under different housing conditions during Summer, in southern Australia. *Animal Production*, 35, 341-351.
- The Pig Site. 2002. Heat stress index chart for swine producers. Disponible em: <http://www.thepigsite.com/articles/669/heat-stress-index-chart-for-swine-producers/>
- Viazzi, S., Ismayilova, G., Oczak, M., Sonoda, L. T., Fels, M., Guarino, M., ... & Berckmans, D. (2014). Image feature extraction for classification of aggressive interactions among pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 104, 57-62.
- Von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant-Forde, J., ... & Valance, D. (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals—a review. *Physiology & behavior*, 92(3), 293-316.
- Wang, Y., Yang, W., Winter, P., & Walker, L. (2008). Walk-through weighing of pigs using machine vision and an artificial neural network. *Biosystems Engineering*, 100(1), 117-125.
- Wathes, C. M., Kristensen, H. H., Aerts, J. & Berckmans, D. (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall?, *Computers and electronics in agriculture*, 64(1), 2-10.
- White, H. M., Richert, B. T., Schinckel, A. P., Burgess, J. R., Donkin, S. S., & Latour, M. A. (2008). Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities. *Journal of Animal Science*, 86(8), 1789-1798.

- Xiong, Y. (2013). Evaluation of trailer thermal environment during comercial swine transport. Master Thesis. Univertisy of illiois at Urbana-Champaign. Urbana, Illois.
- Yousef, M. K. (1985). *Stress physiology in livestock. Volume I. Basic principles*. CRC press.