

**MAÍRA FREIRE PECEGUEIRO DO AMARAL**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE GÁS  
AMÔNIA EM GALPÕES AVÍCOLAS COM VENTILAÇÃO  
NEGATIVA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

A485a  
2007

Amaral, Maíra Freire Pecegueiro do, 1980-

Avaliação de sistema para monitoramento de gás amônia em galpões avícolas com ventilação negativa / Maíra Freire Pecegueiro do Amaral. – Viçosa, MG, 2007. xv, 62f. : il. col.; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 51-54.

1. Equipamento agrícola - Avaliação. 2. Poluição - Equipamentos de controle - Avaliação. 3. Ar - Poluição - Controle. 4. Amônia. 5. Ave doméstica - Instalações - Engenharia ambiental. 6. Construções rurais - Aquecimento e ventilação. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.3

MAÍRA FREIRE PECEGUEIRO DO AMARAL


**AVALIAÇÃO DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE GÁS  
AMÔNIA EM GALPÕES AVÍCOLAS COM VENTILAÇÃO  
NEGATIVA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de  
Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia  
Agrícola, para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*.

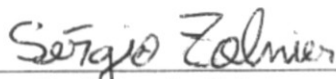
APROVADA: 14 de maio de 2007



Prof. Richard Stephen Gates  
(Co-orientador)



Prof. Adir Nogueira da Silva



Prof. Sergio Zolnier



Prof. Fernando da Costa Baêta



Ilda de Fátima Ferreira Tinôco

Ao meu avô, Sylvio Vianna Freire, que me ensinou que as dificuldades devem ser enfrentadas com coragem e determinação.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu saúde e confiança para atingir meus objetivos.

Ao meu pai Marcio e à minha mãe Maria Vilma, pelo apoio incondicional, dedicação, incentivo e amor.

Ao meu irmão Fernando, minhas tias Maysa e Myriam, a prima Duda e a toda família por terem estado sempre ao meu lado. Aos meus anjos Luana, Júlia e Carolina, que alegam minha vida. Ao tio Sergio pela grande colaboração.

Ao Rodrigo Sinaidi Zandonadi pelo amor, atenção, compreensão e ajuda em todos os momentos. À D. Lourdes e ao Matheus pelo carinho.

À professora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pela oportunidade concedida, orientação, amizade, incentivo nos momentos difíceis e valiosos ensinamentos, sem os quais esse trabalho não teria sido realizado.

Aos professores Richard Gates, Erin Wilkerson, Paulo Roberto Cecon, pela orientação, paciência, empenho e inestimável ajuda.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Agrícola e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por acreditarem na realização deste trabalho.

À Universidade de Kentucky, Kentucky – USA pela oportunidade concedida.

Aos professores e funcionários da UK, Dr. Douglas Overhults, Mr. John Earnst, Elizabeth Ramey, Rhonda VanDyke e Lloyd Dunn, pela fundamental ajuda.

Ao meu amigo Enrique Anastácio Alves, pelo apoio, pelos importantes conselhos, paciência e amizade que muito me auxiliaram.

Aos amigos Andrea, Fernanda, Igor, Marconi, Alessandra e Ciro pelo apoio, amizade e pelos momentos de descontração.

Aos colegas do AMBIAGRO Josiane, Irene, Maria Clara, Cinara, Akemi, Claudia, Kelles, Marcos, Ricardo, Marcelo, Humberto, Matheus, Neiton, Pedro, Alexandre e Keller pelo apoio na realização deste trabalho.

Aos professores da UFV, especialmente Vicente de Paula Lelis, Francisco de Assis Carvalho Pinto, Ricardo Capúcio Rezende, Evandro de Castro Melo, Sergio Zolnier, Jadir Nogueira da Silva e Fernando da Costa Baêta, pelo exemplo e pela orientação.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, especialmente Zé Mauro, Edna, Renato e Marcos pela valiosa colaboração.

## **BIOGRAFIA**

MAÍRA FREIRE PECEGUEIRO DO AMARAL, filha de Marcio Pecegueiro do Amaral e Maria Vilma Freire Pecegueiro do Amaral, nasceu em 21 de agosto de 1980, na cidade do Rio de Janeiro, estado do Rio de Janeiro.

Em janeiro de 2000 iniciou o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa, com término em janeiro de 2005.

Em julho de 2005 iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Construções Rurais e Ambiente.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	X
RESUMO .....	XII
ABSTRACT .....	XIV
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1. PANORAMA DA AVICULTURA MUNDIAL.....	4
2.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE CLIMA E AMBIENTE .....	5
2.3. QUALIDADE DO AR E BEM-ESTAR ANIMAL.....	7
2.4. A AMÔNIA E SUA IMPORTÂNCIA NA ATIVIDADE DE PRODUÇÃO ANIMAL .....	8
2.5. A TAXA DE VENTILAÇÃO .....	10
2.6. O MONITORAMENTO CONTÍNUO DA EMISSÃO DE GASES.....	11
2.7. OS SENSORES ELETROQUÍMICOS .....	12
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1. INFORMAÇÕES GERAIS.....	14
3.2. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO DA AMÔNIA .....	15
3.2.1 <i>UMMEA (Unidade Móvel de Monitoramento de Emissões no Ar)</i> .....	15
3.2.2 <i>UPM (Unidade Portátil de Monitoramento)</i> .....	16
3.2.3 <i>SAV (Sistema de Avaliação de Ventiladores)</i> .....	18
3.3. TRABALHO DE CAMPO .....	19
3.3.1 <i>Local</i> .....	19
3.3.2 <i>Determinação das curvas dos ventiladores</i> .....	21
3.3.3 <i>Operação da UPM</i> .....	23
3.3.4 <i>Operação da UMMEA</i> .....	26
3.4. COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE AMÔNIA.....	27
3.4.1 <i>Metodologias de cálculo da concentração média de amônia</i> .....	27
3.4.2 <i>Cálculo da concentração média de amônia obtida pela UMMEA</i> .....	29

3.4.3	<i>Cálculo da taxa de ventilação</i> .....	30
3.4.4	<i>Cálculo da taxa de emissão</i> .....	30
3.5.	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	31
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
4.1.	AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE AMÔNIA COM BASE NOS VALORES INSTANTÂNEOS DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA OBTIDOS CONTINUAMENTE EM UM DETERMINADO PERÍODO DE TEMPO, POR MEIO DA UPM.....	33
4.1.1	<i>Valores médios de concentração de amônia em cada local de coleta de amostras de ar</i> .....	33
4.1.2	<i>Comparação entre os valores médios de concentração de amônia obtidos com as quatro diferentes metodologias de cálculo da UPM e a UMMEA, em cada local de coleta de amostras de ar</i> .....	37
4.1.3	<i>Equações de calibração para utilização das metodologias apresentadas</i> .....	41
4.2	AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA CÁLCULO DA EMISSÃO DE AMÔNIA .....	42
4.2.1	<i>Valores médios de emissão de amônia para cada local de coleta de amostras de ar e metodologias de cálculo</i> .....	42
4.2.2	<i>Comparação entre os valores médios de emissão de amônia em cada local de coleta de amostras de ar</i> .....	45
4.2.3	<i>Equações de calibração para utilização das metodologias apresentadas</i> .....	49
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>51</b>
	<b>APÊNDICE</b> .....	<b>55</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	UMMEA: VISTA DE FORA DO <i>TRAILER</i> E INTERIOR DO <i>TRAILER</i> COM COMPUTADOR E TUBULAÇÕES DE GASES.....	15
FIGURA 2.	INNOVA: MONITOR FOTOACÚSTICO DE GASES UTILIZADO NA UNIDADE DE REFERÊNCIA UMMEA PARA MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA. ....	16
FIGURA 3.	UPM: UNIDADE PORTÁTIL DE MONITORAMENTO AVALIADA. ....	17
FIGURA 4.	ILUSTRAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE VENTILADORES INSTALADO NO GALPÃO E DETALHE DOS ANEMÔMETROS NO LABORATÓRIO.....	18
FIGURA 5.	CURVA DO VENTILADOR OBTIDA A PARTIR DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE VENTILADORES PARA SITUAÇÃO REAL DE FUNCIONAMENTO. ....	19
FIGURA 6.	MAPAS DO LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO. ....	20
FIGURA 7.	ESQUEMA ILUSTRATIVO DOS LOCAIS DE COLETA DE AMOSTRAS DE AR NOS DOIS GALPÕES UTILIZADOS NA PESQUISA. ....	20
FIGURA 8.	INSTRUMENTO SETRA MODELO 264 UTILIZADO PARA MEDIÇÃO DA PRESSÃO ESTÁTICA NOS GALPÕES E VISOR.....	21
FIGURA 9.	DETALHE DA GARRAFA PERFURADA INSTALADA NA EXTREMIDADE DO TUBO DE AR UTILIZADA PARA MINIMIZAR A INTERFERÊNCIA DO VENTO NA MEDIÇÃO DE PRESSÃO ESTÁTICA.....	22
FIGURA 10.	DETALHE DO SENSOR DE CORRENTE ELÉTRICA INSTALADO NO CABO DE ENERGIA DO VENTILADOR, DESTINADO A MONITORAR O TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO MESMO.....	22
FIGURA 11.	SENSOR DE AMÔNIA DRAGER PAC III, UTILIZADO NA UNIDADE PORTÁTIL DE MONITORAMENTO, AVALIADA NA PESQUISA.....	23
FIGURA 12.	COMPUTADOR UTILIZADO PARA PROGRAMAR O INSTRUMENTO SENSOR DE AMÔNIA DRAGER PAC III NO PROGRAMA DE COMPUTADOR <i>GAS VISION</i> . ....	23
FIGURA 13.	DETALHE DAS NOVAS CÉLULAS SENSORAS DE AMÔNIA INSTALADAS NOS INSTRUMENTOS DRAGER PAC III DA UNIDADE PORTÁTIL DE MONITORAMENTO AVALIADA.....	24
FIGURA 14.	TEMPORIZADOR PARA ALTERNAR CICLOS DE LIMPEZA E AMOSTRAGEM NA UNIDADE PORTÁTIL DE MONITORAMENTO, ALTERANDO O FUNCIONAMENTO DA VÁLVULA SOLENÓIDE.....	25
FIGURA 15.	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS HOBO DE QUATRO CANAIS UTILIZADO EM CADA UNIDADE PORTÁTIL DE MONITORAMENTO, DESTINADO A ARMAZENAR DADOS DE PRESSÃO ESTÁTICA, TEMPERATURA E ESTADO LIGADO/DESLIGADO DO TEMPORIZADOR E DIÓXIDO DE CARBONO.....	25
FIGURA 16.	FILTRO INSTALADO NA EXTREMIDADE DOS TUBOS DE COLETA DE AMOSTRA DE AR PARA EVITAR A INTERFERÊNCIA DE POEIRA NA LEITURA. ....	26

FIGURA 17.	VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA NO PONTO 1 DE AMOSTRAGEM (FASE DE PINTEIRO, VENTILAÇÃO MÍNIMA), COM AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DA UPM, DENOMINADAS AT, A2, A4 E AMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, E ÀS MÉDIAS DE REFERÊNCIA ARF.....	34
FIGURA 18.	VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA NO PONTO 2 DE AMOSTRAGEM (CRESCIMENTO INICIAL, VENTILAÇÃO TÉRMICA, COM AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DA UPM, DENOMINADAS AT, A2, A4 E AMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, E ÀS MÉDIAS DE REFERÊNCIA ARF.....	34
FIGURA 19.	VALORES MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA NO PONTO 3 DE AMOSTRAGEM (CRESCIMENTO FINAL, VENTILAÇÃO TÉRMICA) COM AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DA UPM, DENOMINADAS AT, A2, A4 E AMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, E ÀS MÉDIAS DE REFERÊNCIA ARF.....	35
FIGURA 20.	REGRESSÃO LINEAR COM BASE NA EQUAÇÃO $Y_i = a + bX_i + e_i$ , SENDO Y O EQUIPAMENTO AVALIADO UPM, PARA AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE MÉDIAS DENOMINADAS AT, A2, A4 E AMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA, RESPECTIVAMENTE, DO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; E VALOR MÁXIMO, E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NO LOCAL 1 DE AMOSTRAGEM (FASE DE PINTEIRO E VENTILAÇÃO MÍNIMA). ....	38
FIGURA 21.	REGRESSÃO LINEAR COM BASE NA EQUAÇÃO $Y_i = a + bX_i + e_i$ , SENDO Y O EQUIPAMENTO AVALIADO UPM, PARA AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE MÉDIAS DENOMINADAS AT, A2, A4 E AMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA, RESPECTIVAMENTE, DO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; E VALOR MÁXIMO, E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NO LOCAL 2 DE AMOSTRAGEM (FASE DE CRESCIMENTO INICIAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA).....	38
FIGURA 22.	REGRESSÃO LINEAR COM BASE NA EQUAÇÃO $Y_i = a + bX_i + e_i$ , SENDO Y O EQUIPAMENTO AVALIADO UPM, PARA AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE MÉDIAS DENOMINADAS AT, A2, A4 E AMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA, RESPECTIVAMENTE, DO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; E VALOR MÁXIMO, E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NO LOCAL 3 DE AMOSTRAGEM (FASE DE CRESCIMENTO FINAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA). ....	39
FIGURA 23.	OS VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DE EMISSÃO DE AMÔNIA NO AR, DO EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA (BRF) E DAS 4 METODOLOGIAS DA UPM, DENOMINADAS BT, B2, B4 E BMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO; MULTIPLICADOS PELA RESPECTIVA TAXA DE VENTILAÇÃO, NO LOCAL 1 DE AMOSTRAGEM (FASE DE PINTEIRO E VENTILAÇÃO MÍNIMA).....	43

FIGURA 24.	OS VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DE EMISSÃO DE AMÔNIA NO AR, DO EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA (BRF) E DAS 4 METODOLOGIAS DA UPM, DENOMINADAS BT, B2, B4 E BMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO; MULTIPLICADOS PELA RESPECTIVA TAXA DE VENTILAÇÃO, NO LOCAL 2 DE AMOSTRAGEM (FASE DE CRESCIMENTO INICIAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA).....	43
FIGURA 25.	OS VALORES MÉDIOS HORÁRIOS DE EMISSÃO DE AMÔNIA NO AR, DO EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA (BRF) E DAS 4 METODOLOGIAS DA UPM, DENOMINADAS BT, B2, B4 E BMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO; MULTIPLICADOS PELA RESPECTIVA TAXA DE VENTILAÇÃO, NO LOCAL 3 DE AMOSTRAGEM (FASE DE CRESCIMENTO FINAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA).....	44
FIGURA 26.	REGRESSÃO LINEAR COM BASE NA EQUAÇÃO $Y_i = a + bX_i + e_i$ , SENDO Y O EQUIPAMENTO AVALIADO UPM, PARA AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE MÉDIAS DENOMINADAS BT, B2, B4 E BMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, MULTIPLICADOS PELA RESPECTIVA TAXA DE VENTILAÇÃO, E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NO LOCAL 1 DE AMOSTRAGEM (FASE DE PINTEIRO E VENTILAÇÃO MÍNIMA). ....	46
FIGURA 27.	REGRESSÃO LINEAR COM BASE NA EQUAÇÃO $Y_i = a + bX_i + e_i$ , SENDO Y O EQUIPAMENTO AVALIADO UPM, PARA AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE MÉDIAS DENOMINADAS BT, B2, B4 E BMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, MULTIPLICADOS PELA RESPECTIVA TAXA DE VENTILAÇÃO, E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NO LOCAL 2 DE AMOSTRAGEM (FASE DE CRESCIMENTO INICIAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA). ....	46
FIGURA 28.	REGRESSÃO LINEAR COM BASE NA EQUAÇÃO $Y_i = a + bX_i + e_i$ , SENDO Y O EQUIPAMENTO AVALIADO UPM, PARA AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE MÉDIAS DENOMINADAS BT, B2, B4 E BMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, MULTIPLICADOS PELA RESPECTIVA TAXA DE VENTILAÇÃO, E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NO LOCAL 3 DE AMOSTRAGEM (FASE DE CRESCIMENTO FINAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA). ....	47

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	REPRESENTAÇÃO DAS 24 REPETIÇÕES DE 24 HORAS CONTÍNUAS DE MONITORAMENTO DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REALIZADAS COM AS 4 UPMS NOS 6 PONTOS DE AMOSTRAGEM, SENDO 3 EM CADA GALPÃO .....	28
TABELA 2.	TEMPERATURA DE CONFORTO PARA FRANGOS DE CORTE .....	29
TABELA 3.	ESTIMATIVA DOS COEFICIENTES DE REGRESSÃO DA EQUAÇÃO $Y_1 = A + BX_1 + E_1$ , ÍNDICES ESTATÍSTICOS DE PRECISÃO(R) E EXATIDÃO(D), ERRO MÉDIO DE ESTIMATIVA (MBE) E RAIZ QUADRADA DO QUADRADO MÉDIO DO ERRO (RMSE), SENDO Y O EQUIPAMENTO AVALIADO UPM, PARA AS METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE MÉDIAS DENOMINADAS AT, A2, A4 E AMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NOS LOCAIS 1, 2 E 3 DE AMOSTRAGEM DOS GALPÕES, RESPECTIVAMENTE REFERENTES A FASE DE PINTEIRO E VENTILAÇÃO MÍNIMA, CRESCIMENTO INICIAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA E CRESCIMENTO FINAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA .....	39
TABELA 4.	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA UTILIZAÇÃO DAS METODOLOGIAS APRESENTADAS AT, A2, A4 E AMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA OBTIDOS PELA UNIDADE AVALIADA UPM REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, NOS LOCAIS 1, 2 E 3 DE AMOSTRAGEM DOS GALPÕES, RESPECTIVAMENTE REFERENTES A FASE DE PINTEIRO E VENTILAÇÃO MÍNIMA, CRESCIMENTO INICIAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA E CRESCIMENTO FINAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA .....	41
TABELA 5.	ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE REGRESSÃO DA EQUAÇÃO $Y_1 = A + BX_1 + E_1$ , SENDO Y O EQUIPAMENTO AVALIADO UPM, UTILIZANDO-SE 4 METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE EMISSÃO DE AMÔNIA DENOMINADAS BT, B2, B4 E BMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, MULTIPLICADOS PELA RESPECTIVA TAXA DE VENTILAÇÃO E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NOS LOCAIS 1, 2 E 3 DE AMOSTRAGEM DOS GALPÕES, RESPECTIVAMENTE REFERENTES A FASE DE PINTEIRO E VENTILAÇÃO MÍNIMA, FASE DE CRESCIMENTO INICIAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA E FASE DE CRESCIMENTO FINAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA.....	47
TABELA 6.	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA UTILIZAÇÃO DAS METODOLOGIAS APRESENTADAS BT, B2, B4 E BMX, NAS QUAIS SÃO CONSIDERADOS OS VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA REFERENTES, RESPECTIVAMENTE, AO PERÍODO COMPLETO DE AMOSTRAGEM; AOS 2 ÚLTIMOS MINUTOS, EXCLUINDO-SE O ÚLTIMO VALOR; AOS 4 MINUTOS INTERMEDIÁRIOS; AO VALOR MÁXIMO, MULTIPLICADOS PELA RESPECTIVA TAXA DE VENTILAÇÃO E X O EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA UMMEA, NOS LOCAIS 1, 2 E 3 DE AMOSTRAGEM DOS GALPÕES, RESPECTIVAMENTE REFERENTES A FASE DE PINTEIRO E VENTILAÇÃO MÍNIMA, FASE DE CRESCIMENTO INICIAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA E FASE DE CRESCIMENTO FINAL E VENTILAÇÃO TÉRMICA .....	49

TABELA A1. EXEMPLO DO CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE AMÔNIA UTILIZANDO-SE AS 4 DIFERENTES METODOLOGIAS AT, A2, A4 E AMX .....	56
TABELA A2. EXEMPLO DO CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA HORÁRIA DE AMÔNIA UTILIZANDO-SE AS 4 DIFERENTES METODOLOGIAS AT, A2, A4 E AMX .....	57
TABELA A3. EXEMPLO DE CÁLCULO DAS TAXAS DE EMISSÃO DE AMÔNIA (BT, B2, B4, BMX E BRF) <sup>3</sup> UTILIZANDO-SE AS 4 DIFERENTES METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE AMÔNIA DA UPM (AT, A2, A4 E AMX) <sup>3</sup> , A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE AMÔNIA DA UMMEA (ARF) <sup>3</sup> E A TAXA DE VENTILAÇÃO (VR) .....	58
TABELA A4. VALORES HORÁRIOS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (PPM), CALCULADOS A PARTIR DA OBSERVAÇÃO DE 24 HORAS CONTÍNUAS DE MONITORAMENTO, COM CADA UMA DAS 4 UPMS MONTADAS PARA A PESQUISA, NOS LOCAIS 1, 2 E 3 DE AMOSTRAGEM DOS GALPÕES, COM AS QUATRO METODOLOGIAS AVALIADAS (AT, A2, A4 E AMX) PARA UPM E COM A UMMEA .....	59
TABELA A5. VALORES HORÁRIOS MÉDIOS DE EMISSÃO DE AMÔNIA NO AR (G/HR) CALCULADOS A PARTIR DA OBSERVAÇÃO DE 24 HORAS CONTÍNUAS DE MONITORAMENTO, COM CADA UMA DAS 4 UPMS, NOS LOCAIS 1, 2 E 3 DE AMOSTRAGEM DOS GALPÕES, COM AS QUATRO METODOLOGIAS AVALIADAS (BT, B2, B4 E BMX) E COM A UMMEA .....	61

## RESUMO

AMARAL, Máira Freire Pecegueiro do, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2007. **Avaliação de sistema para monitoramento de gás amônia em galpões avícolas com ventilação negativa.** Orientadora: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Co-orientadores: Richard Stephen Gates, Erin Georgette Wilkerson e Paulo Roberto Cecon.

O crescimento industrial e as atividades econômicas mundiais em geral contribuem para o aumento da produção de gases e poluentes que prejudicam a qualidade do ar. Na criação intensiva de frangos de corte, o principal gás produzido é a amônia e a alta concentração deste gás pode causar diversos danos à saúde dos animais e trabalhadores, bem como prejuízos ao sistema produtivo. O monitoramento da concentração de amônia no ambiente é extremamente importante para o bem-estar animal, sendo que a quantificação da emissão deste gás é importante para o estudo da poluição ambiental causada pela atividade de produção animal, contribuindo para inventários e banco de dados, importantes na adoção de medidas mitigadoras de impactos ambientais. Entretanto, instrumentos para monitoramento contínuo de gases possuem alto custo, não são portáteis e necessitam de instrumentação de apoio, o que dificulta sua utilização em condições de campo. Por conseguinte, torna-se necessário o desenvolvimento de instrumentação simplificada e acessível, que possibilite o monitoramento de gases em criações comerciais de animais. Diante do exposto, tem-se como objetivo nesta pesquisa montar e avaliar a eficiência de um equipamento de baixo custo, destinado ao monitoramento contínuo de amônia em ambientes de produção de animais acondicionados com sistema de ventilação negativa em modo túnel. O equipamento avaliado, denominado UPM (Unidade Portátil de Monitoramento), foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Kentucky, Iowa State University e Pennsylvania State University, nos Estados Unidos. A pesquisa foi realizada em dois aviários comerciais similares, no município de Madisonville, estado de Kentucky, nos Estados Unidos. As coletas de amostras de ar foram realizadas em três

locais de cada galpão, denominados 1, 2 e 3, referentes respectivamente ao local entre dois dos quatro exaustores destinados à ventilação mínima (relacionado com a fase de pinteiro), entre outros dois exaustores de ventilação mínima (relacionado à fase de crescimento inicial) e entre os ventiladores destinados à ventilação térmica em modo túnel (relacionado com a fase de crescimento final). Os valores de concentração e emissão de amônia obtidos pelo equipamento avaliado foram comparados aos valores obtidos pelo equipamento considerado como referência nesse estudo, de confiabilidade conhecida, denominado UMMEA (Unidade Móvel de Monitoramento de Emissões no Ar). Foram avaliadas quatro diferentes metodologias de cálculo de concentração de amônia, com base nos valores obtidos instantaneamente pela UPM, considerando-se que estes interferem diretamente nos valores de emissão média de amônia. As metodologias estudadas para cálculo da concentração média de amônia foram denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais foram considerados, respectivamente: os valores referentes aos seis minutos do período de amostragem; aos dois últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos quatro minutos intermediários; ao valor máximo. Para comparação entre os equipamentos quanto ao monitoramento de emissão de amônia, os valores de concentração de amônia obtidos com as metodologias apresentadas foram multiplicados pela taxa de ventilação do local e denominados BT, B2, B4 e BMX. Nas condições de realização deste experimento e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que todas as metodologias estudadas para cálculo da concentração e emissão médias de amônia da UPM apresentaram valores estatisticamente similares aos apresentados pelo equipamento de referência UMMEA. As metodologias que mais se aproximaram dos resultados da UMMEA foram AT e BT, para valores de concentração e emissão de amônia respectivamente. Os níveis de concentração de amônia foram maiores na fase de pinteiro e os níveis de emissão de amônia foram maiores na fase de crescimento final da vida das aves. Não houve influência destes níveis de gases na acurácia da UPM, indicando que este equipamento pode ser usado com confiabilidade em todas as fases de criação. Sendo assim, o instrumento avaliado UPM mostrou-se uma alternativa eficiente no monitoramento contínuo de concentração e emissão de amônia. Entretanto, os valores encontrados com a utilização da UPM devem ser ajustados de acordo com as equações apresentadas neste trabalho.

## ABSTRACT

AMARAL, Máira Freire Pecegueiro do, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2007. **Evaluation of a system for ammonia gas monitoring inside broiler house with negative ventilation.** Adviser: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Co-advisers: Richard Stephen Gates, Erin Georgette Wilkerson, and Paulo Roberto Cecon.

The industrial growth and economical activities in the world contribute to the increase of gases and pollutant production that compromises the air quality. One of the main gases produced inside of broiler houses is ammonia and exposure to a high concentration of ammonia can cause serious damages to animal's and worker's health. Therefore, controlling ammonia concentration is extremely important for animal welfare. Also, the quantification of ammonia emission from animal houses is important in order to study environmental pollution caused by animal production, its contribution to inventories of gas emission, and must be understood if we are to reduce environmental impacts. However, instruments for continuous monitoring of ammonia gas are expensive, not portable and need instrumentation support. It is necessary to develop a simplified and cost effective instrumentation, in order to achieve a feasible system for ammonia gas monitoring in animal houses. Thus, the general objective of this research was to evaluate the efficiency of low cost equipment for continuous ammonia monitoring in animal houses with negative ventilation system. The evaluated equipment, denominated PMU (Portable Monitoring Unit), was developed by researchers of the University of Kentucky, Iowa State University and Pennsylvania State University, United States. The research reported here was accomplished in two similar broiler houses, near the town of Madisonville, Kentucky, USA. Air samples were collected from three places in each house, denominated 1, 2 and 3, referring respectively to the place between two of the four sidewall exhaust fans used for minimum ventilation (related with the initial phase of the animals), and for moisture control, between other two minimum ventilation fans (related the phase of initial growth)

and among the tunnel ventilation fans (related with the phase of final growth) and hot weather. The concentrations and emission values of ammonia obtained by the PMU equipment were compared to the values obtained by MAEMU (Mobile Air Emission Monitoring Unit) which was considered the reference in this study. Four different methods for computing hourly averages of ammonia concentration were evaluated based on the concentration reading directly from the PMU, considering that final concentration value and sampling intervals directly affect the computation of ammonia emission. The methods studied were denominated AT, A2, A4 and AMX, in which they were considered, respectively, all the values during a sampling period; values from last two minutes, excluding the last value; values from de middle four minutes; and the maximum concentration value. For comparison between instruments for ammonia emission monitoring, the final values of ammonia concentration were multiplied by the appropriate ventilation rate to obtain the ammonia emissions designated as BT, B2, B4, and BMX. Under the conditions in which this experiment was conducted and the results obtained, it can be affirmed that the four studied methodologies for ammonia concentration of PMU presented values similar to those by the reference instrument MAEMU. From the methodologies studied for PMU, those which best approximated results of MAEMU were methodologies AT and BT, for ammonia concentration and ammonia emission, respectively. The highest ammonia concentration level was found on the initial phase, and the highest ammonia emission rate level was found on the final growth phase. No influence of high levels of emission rate or concentration were found in the PMU accuracy. In conclusion, the evaluated PMU instrument proved to be an efficient alternative for continuous monitoring of concentration and emission of ammonia. However, its prediction should be adjusted according to the equations presented in this thesis.

## **1. Introdução**

O extraordinário crescimento da indústria e das atividades econômicas mundiais, de uma maneira geral, tem trazido como contrapartida negativa o acelerado aumento na geração de gases poluentes, que prejudicam a qualidade do ar ambiente, podendo levar a graves conseqüências, como a formação do efeito estufa, aquecimento global e, em decorrência, aumento dos níveis dos oceanos, crescimento de áreas desérticas, aumento da ocorrência de furacões e ciclones e ondas de calor em diferentes regiões da terra. Portanto, o controle da emissão de gases tóxicos originários da atividade industrial e agroindustrial, com o objetivo de reduzir a poluição do ar e melhorar a qualidade ambiental, torna-se extremamente necessário em todo o planeta.

Entre as atividades industriais, o setor de produção animal contribui consideravelmente para a geração de gases, sendo a amônia muito importante. A amônia é um gás tóxico formado durante a decomposição dos dejetos animais produzidos no interior do abrigo criatório. No caso da criação intensiva de frangos de corte, a amônia em alta concentração causa diversos danos à saúde e ao desenvolvimento das aves. Animais expostos a altas concentrações de amônia podem ter doenças respiratórias, infecções e problemas de visão, os quais afetam negativamente o bem-estar animal e, por conseqüência, a produção. A formação do gás amônia depende de diversos fatores, tais como densidade de animais, nutrição, umidade do ar e do piso e temperatura ambiente. Assim, a concentração de amônia no ar varia com a intensidade de decomposição dos dejetos e com a ventilação do local, a qual, por sua vez, influencia na dispersão do gás no ar e nos fatores térmico-ambientais.

O monitoramento contínuo da concentração de amônia no ambiente é extremamente importante para o bem-estar animal, uma vez que a alta concentração deste gás é prejudicial à saúde e, conseqüentemente, à produção do mesmo. Assim, considerando-se que o bem-estar dos animais é exigência cada vez mais predominante por

parte do mercado consumidor internacional, torna-se fundamental a adequada e contínua quantificação da emissão e concentração de amônia gerada em um sistema de criação. Com vistas a se conhecer as reais condições da geração deste gás nas diferentes localidades, climas e tipos de manejo e também com o objetivo de contribuir com os inventários de emissão de gases oriundos da produção intensiva de animais, todas estas medidas visam reduzir, numa etapa seqüencial, os problemas decorrentes dos impactos ambientais.

De acordo com Gates *et al.* (2002), o monitoramento de emissões de gases em criação de animais confinados envolve dois fatores: a taxa de ventilação e a concentração de poluentes. A taxa ou fator de emissão descreve a quantidade de poluentes emitidos do sistema de criação para a atmosfera em um determinado período de tempo. A concentração de poluentes depende da emissão do poluente e da sua dispersão ao vento.

A presença de determinados gases no ambiente permite avaliar se as taxas de renovação higiênicas de ar (ventilação mínima) estão sendo atendidas para cada idade específica dos animais, de maneira a garantir seu desempenho produtivo. Outro fundamental aspecto relacionado à importância do monitoramento da qualidade do ar no ambiente de criação animal advém do atendimento às leis da gestão ambiental relacionadas à necessidade de redução da emissão de gases nocivos para a atmosfera, redução da poluição aérea e ambiental e preservação da vida sobre o planeta. O não atendimento a estas leis, além de prejudicial ao ambiente, implica também o comprometimento das possibilidades de exportação, uma vez que os clientes internacionais, principalmente os europeus, estão cada vez mais preocupados e exigentes quanto à qualidade do produto associado ao meio ambiente e bem-estar animal.

Tendo em vista a necessidade do monitoramento contínuo da amônia em galpões de criação de frango de corte e a dificuldade de aquisição de instrumentos precisos, em razão dos seus elevados custos, foi desenvolvida nas Universidades de Kentucky, Iowa e Pensilvânia, EUA, uma unidade portátil de monitoramento de amônia de princípio eletroquímico, de baixo custo, simples instalação e operação, denominada Unidade Portátil de Monitoramento (UPM). O custo dos materiais da UPM está estimado em torno de \$4.500. Este preço é muito inferior aos dos monitores de oxidação térmica (quimiofluorescência) para análise de NH<sub>3</sub> (\$16.500) ou sensores fotoacústicos

(aproximadamente \$50.000), fazendo com que este instrumento seja economicamente favorável (GATES *et al.*, 2005; XIN *et al.*, 2002).

A UPM é uma alternativa acessível para implementar o monitoramento contínuo de amônia em ambientes de criação animal, podendo ser empregada para as condições de galpões ventilados por pressão negativa, que são muito comuns no Brasil. Com base na taxa de ventilação e concentração de gases do local, pode-se determinar a emissão média de amônia nesses galpões de criação animal.

Tendo em vista o exposto, tem-se como objetivo geral nesta pesquisa montar e avaliar um equipamento portátil e de baixo custo (UPM), destinado ao monitoramento contínuo da amônia em ambientes fechados de produção animal. Esta avaliação foi feita com base na comparação dos resultados de concentração de amônia obtidos pelo equipamento de leitura alternativo proposto com aqueles obtidos, simultaneamente, no equipamento considerado de referência, denominado UMMEA (Unidade Móvel de Monitoramento de Emissões no Ar). Para esta avaliação, inicialmente foram comparadas quatro metodologias para tratamento dos dados de concentração de amônia obtidos pela UPM, considerando-se que o cálculo da concentração média interfere diretamente nos valores encontrados para emissão média de amônia por hora.

## **2. Revisão de Literatura**

### **2.1. Panorama da avicultura mundial**

Em 2005, os maiores países exportadores de carne de frango, Brasil e Estados Unidos, aumentaram suas exportações em 6% e 5%, respectivamente, e o total mundial de carne de frango exportado atingiu o recorde de 6,5 milhões de toneladas. O Brasil manteve seu nível recorde de exportação de carne de frango de 2,6 milhões de toneladas em 2005 e 2,7 milhões de toneladas em 2006, sendo hoje o maior exportador desta carne no planeta (USDA, 2005, CNA, 2007).

A produção de carnes no Brasil cresceu muito na última década e a produção de carne de frango, especialmente, foi ainda maior que as demais. Entre 1996 e 2006, o aumento da produção da carne bovina foi de 47%, da carne suína 81% e da carne de frango 130%. Os Estados Unidos e o Brasil são, respectivamente, o maior e o segundo maior produtores de frangos de corte do mundo. No Brasil, em particular, esta produção, em 2006, foi de 9,34 milhões de toneladas (CNA, 2007).

Contudo, o grande crescimento da avicultura industrial veio acompanhado de exigência cada vez mais acirrada do mercado consumidor internacional por padrões de qualidade e segurança alimentar, associados à preservação ambiental e bem-estar animal. Desta forma, o aumento da produtividade, por meio do melhoramento genético, nutricional e do manejo da produção, precisa estar associado ao bem-estar do animal e à sustentabilidade do ambiente.

## **2.2. Considerações gerais sobre clima e ambiente**

A alteração no clima mundial é um fato inquestionável e vem sendo discutido e estudado por todo o mundo, com o objetivo de minimizar o avanço dos processos danosos causadores da poluição ambiental e do aquecimento global. Na reunião de Kioto, no Japão, em 1997, representantes de diversos países, inclusive do Brasil, se comprometeram a reduzir a emissão de gases poluentes e os princípios desta convenção foram registrados no documento denominado Protocolo de Kioto.

Os homens sempre alteraram o ambiente; entretanto, após a Revolução Industrial, no século XVIII, os impactos ambientais causados pelo homem tornaram-se consideravelmente maiores. Atividades humanas envolvendo queima de combustíveis fósseis e queima de biomassa, que cresceram a partir da revolução, produzem gases e afetam a composição da atmosfera. Por sua vez, alterações nas concentrações naturais de gases na atmosfera prejudicam a qualidade do ar e causam mudanças no clima, na temperatura e na acidez das chuvas.

A Resolução Federal CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990, que estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar, determina, no seu artigo 1º, que: “são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral”.

O trato respiratório é o primeiro alvo dos poluentes aéreos, seguido do sistema sanguíneo, metabolismo, funções nutricionais e o desempenho geral do animal. A composição do ar é de 78,09% de nitrogênio, 20,95% de oxigênio, 0,93% de argônio e 0,03% de dióxido de carbono. Portanto, 99,99% do ar seco normal são constituídos por estes quatro gases. O sistema respiratório dos animais está em contínuo contato com o ar, o qual possui diversos poluentes que podem exercer efeitos danosos (CURTIS, 1983).

A atenção da comunidade científica está agora voltada à redução da produção de gases poluentes e à mitigação do aquecimento global. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, criada em 1992, da qual o Brasil é signatário, requer dos países membros a realização de inventários periódicos de emissão de gases gerados por atividades agrícolas, industriais e urbanas (EMBRAPA, 2005).

Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne frango (ABEF, 2006), quarto maior produtor mundial de suínos (ABIPECS, 2006) e segundo maior produtor mundial de bovinos de corte (CNA, 2006). Nos sistemas de produção animal, principalmente nos intensivos em ambientes fechados, são produzidos dejetos e gases que necessitam de tratamento e destinação final, para que não prejudiquem a produção e não poluam o meio ambiente. Todos os fatores que agem poluindo e alterando as características naturais do ar têm como consequência o aumento da susceptibilidade do animal a doenças respiratórias e prejuízo no processo produtivo (MACARI & FURLAN, 2001; TINÔCO, 2004).

Para que seja possível o tratamento dos resíduos agroindustriais, primeiramente é necessário quantificá-los, isto é, estimar a quantidade produzida e a concentração de poluentes presentes. Sendo assim, o monitoramento contínuo de gases presentes no ar de uma produção animal é fundamental para que se possa promover as alterações necessárias no ambiente, visando o bem-estar dos animais e a qualidade do ar no sistema produtivo. Entretanto, o monitoramento de emissões de gases requer instrumentação apropriada, que, em geral, possui alto custo, tornando-se inviável para produtores.

### **2.3. Qualidade do ar e bem-estar animal**

O ambiente é o conjunto de tudo que afeta a constituição, o comportamento e a evolução de um organismo (SILVA, 2000). De acordo com BAÊTA e SOUZA (1997), a qualidade do ambiente interno de uma instalação para animais depende das características construtivas, dos materiais de construção, da espécie, número e manejo dos animais presentes. Segundo Tinôco (2004), a modificação da concepção arquitetônica e dos materiais de construção é uma forma de alterar o ambiente das instalações zootécnicas e controlar a influência dos fatores climáticos.

Um importante parâmetro que afeta o bem-estar animal é a qualidade do ar, por meio da presença de odores e alta concentração de gases, poeira e patógenos (KOERKAMP *et al.*, 2000). Nääs (2002) afirma que os conceitos tradicionais sobre ambiência e bem-estar animal precisam ser repensados, com o objetivo de buscar alternativas de produção menos agressivas ao ambiente.

O ambiente térmico ideal para o animal é aquele em que ele se encontra na região de termo neutralidade. Nesta situação, o gasto de energia pelo animal, para conservar ou dissipar calor, é mínimo e a eficiência produtiva é máxima. A temperatura de conforto varia entre os animais e entre as fases de vida do animal. A temperatura do ambiente influencia também no consumo de ração e, conseqüentemente, na conversão alimentar e ganho de peso. O controle da temperatura do ambiente está relacionado com a ventilação, isto é, com a troca de ar entre o ambiente interno do abrigo e o ambiente externo, influenciando na concentração e emissão de gases para a atmosfera (CURTIS, 1983).

A avaliação de emissão de gases poluentes provenientes de instalações de produção animal tem sido realizada em muitas pesquisas (MENEGALI, 2005; CORDEIRO, 2003; PEREIRA, 2006; CAMPOS, 2006.) com o objetivo de quantificar a concentração e o volume de emissão de gases, aprimorar técnicas de coleta de dados e estudar o efeito dos poluentes no desempenho dos animais.

A intensificação de estudos na área de qualidade do ar em ambientes de criação de animais também se deve ao fato de que, atualmente, a maioria dos sistemas produtivos é de alta densidade, aumentando o risco de contaminação por microrganismos patogênicos e a necessidade de controle das condições ambientais, como temperatura, umidade, concentração de gases, taxa de ventilação e nível de ruído (TINÔCO & GATES, 2005; MIRAGLIOTTA *et al.*, 2002).

#### **2.4. A amônia e sua importância na atividade de produção animal**

Entre os gases de efeito tóxico presentes nos ambientes de criação de animais, a amônia é considerada muito importante. A amônia é um gás tóxico, incolor, mais leve que o ar e solúvel em água. Este gás é formado a partir da decomposição microbiana do ácido úrico eliminado pelos animais e possui odor forte, sendo irritante às mucosas. Em instalações avícolas, quando a concentração de amônia no ar é superior a 60 ppm, a ave fica predisposta a doenças respiratórias, aumentando o risco de infecções. Quando o nível de amônia no ambiente atinge 100 ppm, há redução da taxa e profundidade da respiração, prejudicando os processos fisiológicos de trocas gasosas. Níveis altos de amônia, de 60 a 100 ppm, podem ser observados no início da criação em galpões avícolas com a reutilização da cama (GONZÁLES *et al.*, 2001).

Existem diversos fatores que alteram a quantidade de amônia presente no ar interno dos galpões para produção intensiva de animais e a volatilização deste gás está relacionada aos níveis de umidade do ambiente, temperatura e velocidade do ar (AARNINK, 1997). Weaver, 1991, em experimento em que foram comparadas diferentes umidades relativas e circulação interna do ar, observou que, com o incremento da umidade relativa do ar ambiente, ocorreu um incremento proporcional nos níveis de amônia mensurados nestes ambientes.

O aumento da densidade de alojamento de animais em um ambiente de criação intensiva promove incremento no teor de umidade da cama ou do piso, como consequência da maior quantidade de dejeções (fezes) depositada. Como o teor de umidade da cama ou dos dejetos tem uma relação direta com a quantidade de amônia liberada, pode-se concluir que, aumentando-se a densidade de alojamento, aumenta-se a volatilização da amônia (STANLEY *et al.*, 1981; GRAÇAS *et al.*, 1990).

A presença da amônia na atmosfera, em determinada concentração, é importante, pois esse gás é capaz de tamponar acidez provocada por gases e partículas e neutralizar ácidos atmosféricos, gerando como produto final material particulado (FELIX, 2004). De acordo com Freedman (1989), uma vez emitida de um ambiente fechado para o ar, a amônia permanece na atmosfera entre uma e duas semanas. A retirada deste gás pode ocorrer por meio de processos físicos de deposições seca e úmida ou por processos químicos (ANDERSEN, 1999).

Segundo Wells (1998), como a amônia é muito solúvel em água, dissolve-se facilmente nas gotículas formadoras das nuvens, aumentando seu pH e promovendo a conversão de espécies ácidas gasosas em aerossóis de sulfato e nitrato. Atualmente apenas 20% das emissões de amônia no mundo provêm de fontes naturais (solos e oceanos), o restante tem origem nas atividades agrícolas e pecuárias, queima de biomassa e combustíveis fósseis, excreta humana e catalisadores de veículos (KRUPA, 2003).

## 2.5. A taxa de ventilação

A ventilação dentro de uma instalação destinada à produção de animais é extremamente importante, pois está relacionada ao controle da temperatura, troca de ar com o ambiente externo, redução da concentração de gases e emissão de gases para a atmosfera. De acordo com Freeman (1968), a convecção é responsável por cerca de 10 a 15% do total de calor sensível dissipado pelas aves. O aumento da velocidade do ar pode proporcionar perdas de até 30% do calor dissipado. Quando não há a necessidade de redução da temperatura, como na fase inicial da vida das aves, é utilizada a ventilação mínima, ou ventilação higiênica, destinada apenas à redução da concentração de gases e melhoria da qualidade do ar.

A medição da vazão de ar, importante fator na avaliação da emissão em um ambiente fechado, com elevado número de ventiladores, é um desafio, pois a variação no fluxo de ar depende da condição de operação dos ventiladores (posição no ambiente, tensão na correia, poeira nas lâminas etc.). A determinação da taxa de ventilação em locais com ventilação natural pode ser dificultada pela sua instabilidade (XIN *et al.*, 2002).

No caso das instalações abertas para produção animal, comuns no Brasil, o grau de dificuldade na avaliação da taxa de ventilação torna-se ainda maior, porque adicionado às dificuldades apontadas por Xin *et al.* (2002); ainda deve-se considerar as fortes correntes de ar naturais, opostas ou não ao sentido do fluxo dos ventiladores, as quais geram vazões diferenciadas a cada momento.

## **2.6. O monitoramento contínuo da emissão de gases**

De acordo com Gates *et al.*, 2002, o monitoramento de emissões de gases em criação de animais confinados envolve dois fatores: a taxa de ventilação e a concentração de poluentes. A taxa ou fator de emissão descreve a quantidade de poluentes emitidos do sistema de criação para a atmosfera em um determinado período de tempo. A concentração de poluentes depende da emissão do poluente e da sua dispersão ao vento.

O desafio da medição da concentração de poluentes em amostras de ar deve-se ao fato de que instrumentos analíticos de alta precisão não são geralmente designados para medições manuais, possuem alto custo, exigem grande número de operações e geram variações ao longo das operações. Além disso, a variação climática pode interferir em cada monitoramento.

A presença de certos gases permite avaliar se as taxas de renovação higiênicas de ar (ventilação mínima) estão sendo atendidas para cada idade específica dos animais, de maneira a garantir seu desempenho produtivo. Outro aspecto relacionado à importância do monitoramento da qualidade do ar no ambiente de criação animal advém do atendimento às leis da gestão ambiental, relacionadas à necessidade de redução da emissão de gases nocivos para a atmosfera, redução da poluição aérea e ambiental e preservação da vida sobre o planeta. O não atendimento a estas leis, além de prejudicial ao ambiente, implica também o comprometimento das possibilidades de exportação, uma vez que os clientes internacionais, principalmente os europeus, estão cada vez mais preocupados e exigentes quanto à qualidade do produto associado ao meio ambiente e bem-estar animal.

Tendo em vista a necessidade do monitoramento contínuo da amônia em galpões de criação de frango de corte e a dificuldade de aquisição de instrumentos precisos, em razão dos seus elevados custos, foi desenvolvida nas Universidades de Iowa e Kentucky, EUA, uma unidade portátil de monitoramento de amônia de princípio eletroquímico, de baixo

custo, simples instalação e operação, denominada Unidade Portátil de Monitoramento - UPM (GATES *et al.*, 2005; XIN *et al.*, 2002).

O custo dos materiais da UPM está estimado em torno de \$4.500. Este preço é muito inferior ao de monitores de oxidação térmica (quimiofluorescência) para análise de  $\text{NH}_3$  (\$16.500) ou sensores fotoacústicos (aproximadamente \$50.000), fazendo com que este instrumento seja mais viável economicamente.

A UPM constitui uma alternativa acessível para implementar o monitoramento contínuo da concentração de amônia, podendo ser empregada para as condições de galpões ventilados por pressão negativa, o que é muito comum no Brasil. Com base na taxa de ventilação do local e concentração de gases no ambiente, pode-se determinar a emissão média de amônia em galpões de criação animal.

## **2.7. Os sensores eletroquímicos**

De acordo com Freire *et al.* (2003), o desenvolvimento de sensores eletroquímicos é uma área de grande crescimento dentro da Química Analítica. A crescente busca por sensores de qualidade, com alta sensibilidade, seletividade e estabilidade, é de interesse industrial, clínico e ambiental. Apesar da grande versatilidade apresentada pelos sensores eletroquímicos, a utilidade de um eletrodo é muitas vezes limitada devido ao desgaste gradual da sua superfície, consequência principalmente da adsorção dos produtos da própria reação de óxido-redução utilizada na detecção, ou ainda, dos subprodutos destas reações, que podem se polimerizar e se depositar sobre a superfície dos eletrodos. As células eletroquímicas são constituídas de forma similar a uma bateria, sendo a principal diferença a presença de uma membrana semipermeável que separa a fase líquida (eletrólito) da fase gasosa (amostra de ar).

A avaliação instantânea da concentração de gases, segundo pesquisas realizadas por Wilhelm (1999) em instalações avícolas climatizadas nos Estados Unidos, mostram que sensores eletroquímicos devidamente calibrados e operados apresentam medições confiáveis de concentração de amônia (NH<sub>3</sub>). Os sensores eletroquímicos são portáteis e mais viáveis economicamente que os sensores infravermelhos, de oxidação térmica ou de tecnologias óticas de trajeto aberto (McCULLOCH *et al.*, 2000; HARRIS *et al.*, 2001).

Os sensores eletroquímicos foram designados primeiramente para funcionar como alarme, emitindo sinal específico para caracterizar a presença de determinado gás no ambiente. Para que sensores eletroquímicos sejam usados no monitoramento contínuo da concentração de amônia, devem ser periodicamente renovados, isto é, limpos e calibrados (XIN *et al.*, 2002).

A resolução do sensor eletroquímico (1 ppm) é consideravelmente inferior à resolução de sensores de oxidação térmica (níveis abaixo de ppb). Entretanto, para medição de taxa de emissão de gases, considerando-se a relativa imprecisão da taxa de ventilação, a resolução deste sensor proporciona medições aceitáveis (XIN *et al.*, 2002), indicando ser aceitável para a situação do Brasil. O funcionamento dos sensores eletroquímicos depende da temperatura, pois a maior parte das reações eletroquímicas varia sua velocidade em função da temperatura.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1. Informações gerais**

A fase experimental deste trabalho foi realizada no Laboratório de Sistemas de Ambiente Controlado do Departamento de Engenharia Agrícola e de Biossistemas da Universidade de Kentucky e em granjas comerciais de frango de corte integradas à empresa Tyson Foods.

Tem-se como objetivo nesta pesquisa montar e avaliar uma unidade portátil e de baixo custo, denominada de UPM (Unidade Portátil de Monitoramento), desenvolvida por pesquisadores da University of Kentucky, Iowa State University e Pennsylvania State University, EUA (XIN *et al*, 2002; GATES *et al*, 2005), destinada ao monitoramento contínuo da amônia no ar em ambientes fechados de produção animal. Esta avaliação foi realizada com base na comparação entre os resultados de concentração de amônia obtidos pelo equipamento de leitura alternativo proposto e aqueles obtidos, simultaneamente, na unidade considerada de referência, denominada UMMEA (Unidade Móvel de Monitoramento de Emissões no Ar). Para este fim, inicialmente foram avaliadas quatro metodologias para tratamento dos dados de concentração de amônia obtidos pela UPM, considerando-se que o cálculo da concentração média interfere diretamente nos valores encontrados para a emissão média de amônia por hora.

No Laboratório de Sistemas de Ambiente Controlado do Departamento de Engenharia Agrícola e de Biossistemas da Universidade de Kentucky foram montadas

quatro unidades portáteis de monitoramento similares. Os sensores de amônia utilizados nas UPMs foram calibrados no laboratório, com gás amônia em concentração de 25 ppm e zero ppm. Os sensores de amônia, os sistemas de aquisição de dados e os relógios utilizados nas UPMs foram programados no laboratório, em um computador disponibilizado para a pesquisa, no qual estavam instalados os programas necessários.

Nos dois galpões utilizados na pesquisa foram instalados os suportes necessários à colocação da UPM (dois grampos de metal) e cabos de energia, nos três locais do galpão onde a unidade de referência UMMEA coleta amostras de ar. Após calibrar os sensores, programar os instrumentos e preparar os galpões, as quatro UPMs foram instaladas uma vez em cada local de coleta de amostras de ar, não simultaneamente.

### 3.2. Descrição dos equipamentos de monitoramento da amônia

#### 3.2.1 UMMEA (Unidade Móvel de Monitoramento de Emissões no Ar)

A Unidade Móvel de Monitoramento de Emissões no Ar, UMMEA, foi definida como unidade de referência confiável e corresponde a um *trailer* (Figura 1) onde são colocados os instrumentos necessários para o monitoramento de emissões de gases. Nesta unidade está localizado um computador (utilizado para o monitoramento dos gases), os cilindros de gases necessários para a calibração dos instrumentos (oxigênio, amônia, dióxido de carbono, entre outros) e demais componentes, tais como bombas e válvulas.



FIGURA 1. UMMEA: Vista de fora do *trailer* e interior do *trailer* com computador e tubulações de gases.

O instrumento utilizado para monitoramento da amônia na UMMEA é o monitor fotoacústico de gases INNOVA modelo 1412 (Figura 2), que possui um sistema de alta precisão de medição. O princípio de funcionamento é baseado no método de detecção infravermelho fotoacústico, o que confere a este instrumento a capacidade de medir diversos gases que absorvem radiação infravermelha.

A seletividade da INNOVA é determinada por filtros óticos instalados no seu carrossel de filtros. Um filtro ótico especial é permanentemente instalado no carrossel de filtros, para minimizar a interferência do vapor de água na medição. Qualquer outra interferência de algum gás conhecido pode ser minimizada da mesma forma, com a instalação de um filtro apropriado. Cada filtro contém três elementos de separação da radiação infravermelha: elemento de passagem de banda estreita, curta e larga. O elemento de passagem da banda estreita tem transmissão específica definida pelos elementos de banda curta e bandas largas, que impede a transmissão da luz de outras faixas.



**FIGURA 2. INNOVA: Monitor Fotoacústico de Gases utilizado na unidade de referência UMMEA para medição da concentração de amônia.**

### **3.2.2 UPM (Unidade Portátil de Monitoramento)**

A Unidade Portátil de Monitoramento, UPM, avaliada neste experimento e mostrada na Figura 3, é um instrumento desenvolvido para monitorar continuamente emissões de amônia em ambientes fechados de produção animal. Nesta unidade foram utilizados dois sensores eletroquímicos Dräger PAC III, com faixa de medição de 0 - 200ppm e resolução de 1ppm para medição da concentração de amônia.

Um relógio liga/desliga ajustável ao ciclo foi instalado na unidade para controlar o tempo de amostragem e o tempo do ciclo de limpeza, controlando a operação de uma válvula solenóide. A sincronicidade do relógio com a válvula solenóide foi monitorada por

um divisor de tensão. A saída do divisor da tensão (0 quando desligado/limpeza e 1.2VDC quando ligado/amostragem) foi conectada a um sistema de aquisição de dados portátil (HOBO® 4-Channel External Indoor Logger, Onset Computer Corp., Pocasset, MA), que armazenava os dados do estado ligado/desligado do relógio.



**FIGURA 3. UPM: Unidade Portátil de Monitoramento avaliada.**

Um desvio foi utilizado depois da válvula solenóide para controlar a vazão de ar nos sensores. A bomba de ar utilizada na unidade trabalha com uma vazão de 11L/min, sendo a necessidade do sensor de amônia de 0,5 L/min. O controle do desvio e da vazão foi feito manualmente em três medidores.

A bomba de ar foi colocada antes dos sensores de amônia; é extremamente silenciosa e gera pouco calor. Todos os componentes, exceto a bomba e a fonte de energia, foram montados em uma placa de metal, presos por parafusos e velcros, para facilitar o transporte e a disposição na parede do galpão.

### 3.2.3 SAV (Sistema de Avaliação de Ventiladores)

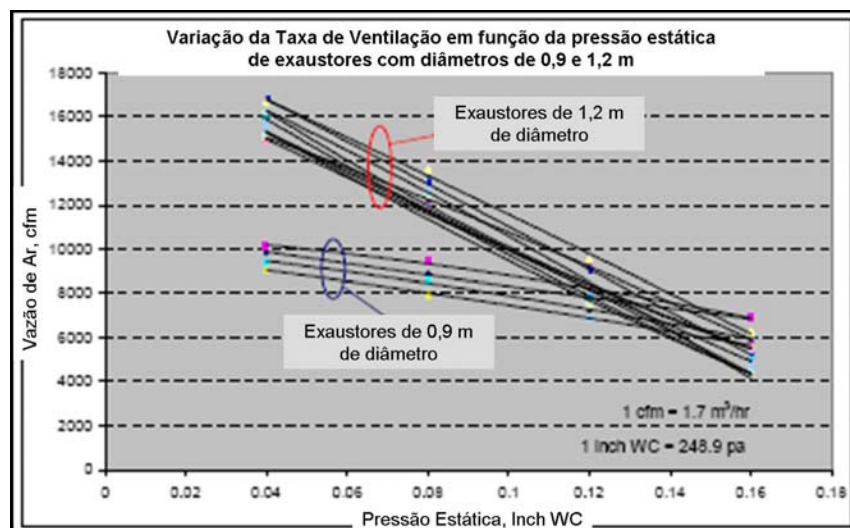
O Sistema de Avaliação de Ventiladores (SAV) é um equipamento desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisas de Frango de Corte do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, como parte de um projeto denominado Iniciativa para o Futuro da Agricultura e Sistemas de Alimentação. O sistema SAV é constituído de estrutura de metal, composta por basicamente três componentes: a estrutura ou corpo, o sistema de movimentação e os anemômetros (Figura 4) (GATES *et al.* 2004).



**FIGURA 4.** Ilustração do sistema de avaliação de ventiladores instalado no galpão e detalhe dos anemômetros no laboratório.

A curva do ventilador fornecida pelo fabricante apresenta mudanças ao longo do tempo, da utilização do ventilador e em função das condições locais de instalação. Devido a isso, torna-se necessário conhecer a curva do ventilador para a condição real de funcionamento, para uma dada pressão estática, conhecendo-se a vazão de ar por um determinado tempo (GATES *et al.* 2004).

O sistema possui cinco anemômetros, alinhados horizontalmente, que se deslocam verticalmente em frente a um ventilador durante três minutos, coletando dados de vazão de ar. O SAV é utilizado em diferentes pressões estáticas internas no galpão, permitindo assim o desenho da nova curva do ventilador, nas suas condições reais de utilização, como mostra a Figura 5.



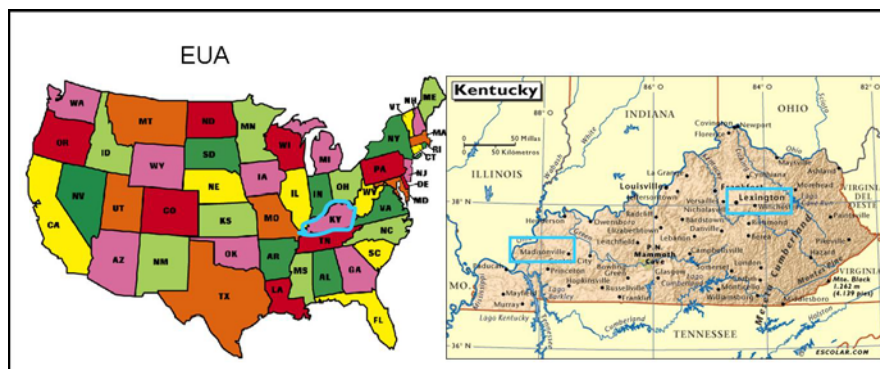
**FIGURA 5.** Curva do Ventilador obtida a partir do Sistema de Avaliação de Ventiladores para situação real de funcionamento.

O programa *Anemometer2* foi desenvolvido no Visual Basic para a aquisição dos dados do SAV. As informações sobre este equipamento, assim como figuras e dimensões, encontram-se no site do Departamento de Engenharia Agrícola e de Biosistemas da Universidade de Kentucky ([www.bae.uky.edu/IFAFS/FANS](http://www.bae.uky.edu/IFAFS/FANS)).

### 3.3. Trabalho de campo

#### 3.3.1 Local

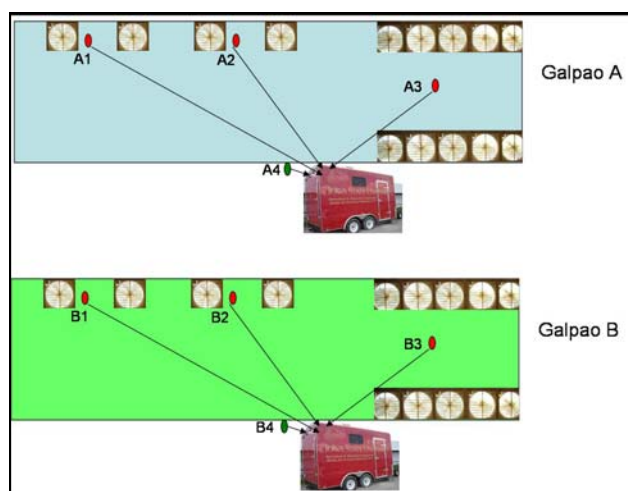
Este trabalho foi desenvolvido em propriedade avícola comercial situada no município de Madisonville – Kentucky, meio-oeste dos Estados Unidos (Figura 6), em dois aviários similares, com dimensões de 13,1m x 155,5m, totalizando uma área de 2037,05 m<sup>2</sup>. Os galpões são isolados termicamente com placas de poliuretano expandido e fibra de vidro entre lâminas de alumínio conjugado e equipados por sistema de ventilação negativa em modo túnel, composto por dez exaustores de 123 cm de diâmetro, além de quatro exaustores laterais de 91 cm de diâmetro, destinados à ventilação mínima. À exceção do isolamento térmico, os aviários utilizados na pesquisa eram similares a um galpão avícola brasileiro.



**FIGURA 6. Mapas do Local de Desenvolvimento do Experimento.**

O piso dos galpões é constituído de cama de palha de diversos materiais. A altura das paredes é de 2,13m, e do cume, de 5,24m. Os comedouros e bebedouros eram automáticos e o aquecimento feito por campânulas a gás. O galpão comportava 25.000 aves, destinadas ao corte, resultando em uma densidade de 12,3 frangos por m<sup>2</sup>.

As amostras de ar foram coletadas em três pontos distintos de cada galpão (Figura 7). O ponto 1 situava-se entre dois dos quatro exaustores destinados à ventilação mínima, na lateral do galpão. O ponto 2 localizava-se entre os outros dois dos quatro exaustores destinados à ventilação mínima (higiênica), também na lateral do galpão. O ponto 3 foi localizado entre os dez ventiladores destinados à ventilação térmica em modo túnel, no centro do galpão. Os três locais de coleta de amostras de ar foram escolhidos com base nos locais já definidos para o instrumento de referência.



**FIGURA 7. Esquema Ilustrativo dos Locais de Coleta de Amostras de Ar nos dois Galpões Utilizados na Pesquisa.**

Em cada galpão foram definidos três locais de amostragem e utilizados dois galpões, totalizando seis pontos de amostragem. Foram realizadas 24 horas contínuas de monitoramento, com cada uma das quatro UPMs disponíveis para o projeto, em cada local de coleta de amostras de ar. A disposição das quatro UPMs nos seis pontos de amostragem resultou em um total de 24 repetições de 24 horas contínuas de monitoramento.

### 3.3.2 Determinação das curvas dos ventiladores

A determinação das curvas dos ventiladores foi feita com a utilização do sistema SAV. A pressão estática foi obtida com o equipamento SETRA modelo 264 (Figura 8), instalado em uma sala de equipamentos situada ao lado de cada galpão. O instrumento SETRA possuía conexão com dois tubos de vinil transparentes de ¼ " de diâmetro interno e 3/8" de diâmetro externo, fazendo comunicação com o interior do galpão (menor pressão) e com o exterior do galpão (maior pressão).



FIGURA 8 . Instrumento Setra Modelo 264 utilizado para medição da pressão estática nos galpões e Visor.

Na extremidade de cada tubo, para leitura da pressão estática interna e externa, foram utilizadas pequenas garrafas plásticas perfuradas para minimizar a interferência do vento na medição, como mostra a Figura 9.



**FIGURA 9.** Detalhe da Garrafa Perfurada instalada na extremidade do tubo de ar utilizada para minimizar a interferência do vento na Medição de Pressão Estática.

O SAV foi utilizado para redesenhar cada curva de ventilador em cada intervalo de lotes de animais da granja. O equipamento foi colocado em frente a cada ventilador, em quatro pressões estáticas diferentes (0,4; 0,8; 0,12 e 0,16 polegadas de coluna de água). Com os valores de vazão de ar lidos pelo SAV, em pés cúbicos por minuto, para cada pressão estática, tornou-se possível desenhar a curva do ventilador para a situação real de utilização.

Como os ventiladores funcionam de forma intermitente, um sensor de corrente elétrica (Figura 10) foi utilizado em cada ventilador, para determinar o tempo de funcionamento necessário para o cálculo da vazão de ar.



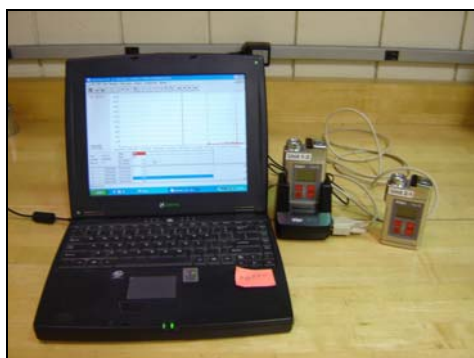
**FIGURA 10.** Detalhe do Sensor de Corrente Elétrica Instalado no Cabo de Energia do Ventilador, destinado a monitorar o tempo de funcionamento do mesmo.

### 3.3.3 Operação da UPM

Os instrumentos utilizados para medição de amônia na UPM, Dräger PAC III (Figura 11), foram programados com a ajuda do programa de computador denominado *Gas Vision* (Figura 12), desenvolvido pela empresa Dräger, fabricante do instrumento.



**FIGURA 11.** Sensor de Amônia Dräger PAC III, utilizado na Unidade Portátil de Monitoramento, avaliada na pesquisa.



**FIGURA 12.** Computador utilizado para programar o instrumento sensor de amônia Dräger PAC III no programa de computador *Gas Vision*.

A calibração dos sensores de amônia foi realizada antes de cada período de monitoramento de 24 horas. O processo de calibração do instrumento é realizado por intermédio de um gás amônia de concentração conhecida e um gás sem a presença de amônia, isto é, de concentração de amônia zero. Para a realização da calibração foi utilizado um cilindro de gás amônia de concentração 25 ppm e um cilindro de gás de concentração zero de amônia, denominado gás zero. Os instrumentos foram colocados em um suporte e os cilindros foram conectados a tubos de vinil, os quais passavam por um desvio que permitia controlar a vazão de gás pelos instrumentos. O gás chega ao sensor,

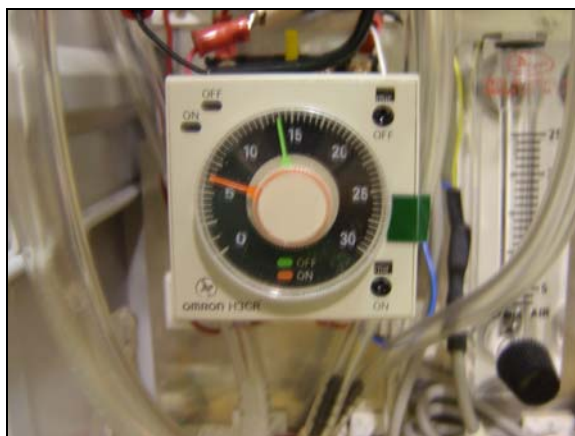
passa por uma membrana e entra em contato com um líquido eletrolítico. A vazão de elétrons gerada pela reação é proporcional à concentração do gás, calibrando assim o equipamento.

Cada unidade UPM possuía dois sensores de amônia, programados para coletar dados com intervalos de 30 segundos, em um sistema de aquisição capaz de armazenar dados por dois dias e meio consecutivos. Em cada sensor foi utilizada uma bateria alcalina de 9V. Os instrumentos foram numerados de 1 a 8, sendo 1 e 2 colocados na UPM1, 3 e 4 colocados na UPM 2, 5 e 6 na UPM 3 e 7 e 8 na UPM 4. As células sensoras de amônia dos instrumentos Dräger PAC III foram trocadas por novas, antes do início da pesquisa, como mostra a Figura 13.



**FIGURA 13. Detalhe das Novas Células Sensoras de amônia Instaladas nos Instrumentos Dräger PAC III da unidade portátil de monitoramento avaliada.**

O temporizador que altera a válvula solenóide, alternando entre os ciclos, foi programado para realizar ciclos de seis minutos de amostragem e 14 minutos de limpeza (Figura 14). Esses períodos de ciclos foram definidos baseados em estudos realizados por Xin *et al.* (2002) e Gates *et al.* (2003). Foi utilizado um sistema de aquisição de dados (Figura 15) em cada UPM, destinado a armazenar informações dos momentos em que o relógio liga e desliga, bem como temperatura e pressão estática a cada 30 segundos.



**FIGURA 14.** Temporizador para Alternar Ciclos de Limpeza e Amostragem na Unidade Portátil de Monitoramento, alterando o funcionamento da válvula solenóide.



**FIGURA 15.** Sistema de Aquisição de Dados HOBO de quatro canais utilizado em cada Unidade Portátil de Monitoramento, destinado a armazenar dados de pressão estática, temperatura e estado ligado/desligado do temporizador e dióxido de carbono.

Para sincronizar o período de 30 segundos, os instrumentos para o monitoramento da amônia foram ligados, manualmente, exatamente quando o relógio mudava de ciclo. O sistema de aquisição de dados foi programado para iniciar o armazenamento de informações no início de cada ciclo de limpeza ou amostragem. Assim, os períodos de 30 segundos de leitura dos instrumentos e do sistema de aquisição de dados começavam no mesmo momento e ficavam, portanto, sincronizados.

Foram colocados filtros de poeira na extremidade dos tubos de coleta de ar (Figura 16), dentro e fora do galpão, para evitar a interferência da poeira na leitura e o acúmulo desta nos tubos.



**FIGURA 16. Filtro Instalado na Extremidade dos tubos de coleta de amostra de ar para evitar a interferência de poeira na leitura.**

### **3.3.4 Operação da UMMEA**

Após a instalação dos filtros da INNOVA, o monitor foi calibrado com gases de concentração conhecida. Os dados medidos pelo monitor foram transferidos para o computador e mostrados na forma de gráficos.

Cada galpão possui três pontos de coleta de amostras de ar, contudo, estes três pontos não funcionam simultaneamente, pois dependem dos ventiladores ligados no momento da análise. O funcionamento dos ventiladores depende da idade dos animais e da temperatura do ambiente. Nas primeiras semanas de vida dos animais são utilizados apenas os ventiladores destinados à ventilação mínima higiênica e quando os animais estão maiores, são utilizados os ventiladores que proporcionam a ventilação em modo túnel.

### **3.4. Comparação de metodologias para cálculo da concentração média de amônia**

#### **3.4.1 Metodologias de cálculo da concentração média de amônia**

O cálculo da concentração média de amônia dos valores obtidos pela UPM varia conforme diferentes metodologias de tratamento dos dados, em um intervalo de tempo considerado. Neste trabalho objetivou-se estudar estes procedimentos e seus respectivos resultados com aqueles obtidos pela UMMEA.

Foram estudadas, então, quatro metodologias distintas para cálculo de concentração média de amônia obtida pela UPM:

1. **Metodologia AT:** média entre todos os valores de concentração de amônia obtidos em cada período “ON” do relógio, isto é, dos 6 minutos em que a UPM coleta amostras de ar dentro do galpão, com intervalo de 30 segundos, totalizando 12 valores.
2. **Metodologia A2:** média entre quatro valores referentes aos 2 últimos minutos “ON”, excluindo o último dado de 30 segundos, considerando que o sensor demora alguns instantes para estabilizar sua leitura e que o último dado sofre interferência do ar de fora do galpão, no momento de mudança entre os ciclos ON e OFF.
3. **Metodologia A4:** média entre os 8 valores intermediários do período “ON”, referentes a 4 minutos, isto é, excluindo o primeiro e o último minuto, considerando que estes sofrem interferência do ar de fora do galpão, no momento de mudança entre os ciclos ON e OFF.
4. **Metodologia AMX:** utilização do valor máximo lido pela UPM durante os 6 minutos do período “ON”, supondo-se que este é o valor no qual o sensor se estabiliza.

O tempo de amostragem utilizado para a UPM foi de seis minutos, seguidos de 14 minutos de ciclo de limpeza, para evitar a saturação dos sensores eletroquímicos. Portanto, a média dos valores do período de amostragem correspondeu aos 20 minutos de um ciclo completo de amostragem e limpeza. O cálculo da média horária de concentração de amônia foi feito por meio da média aritmética entre os três valores médios de cada 20 minutos correspondentes àquela hora.

Foram realizadas 24 repetições de 24 horas contínuas de monitoramento de concentração de amônia, com os dois instrumentos, simultaneamente (Tabela 1). Foi calculada a média entre os valores obtidos nos mesmos horários e pontos de amostragem dos galpões.

**TABELA 1. Representação das 24 repetições de 24 horas contínuas de monitoramento de concentração de amônia realizadas com as 4 UPMs nos 6 Pontos de Amostragem, sendo 3 em cada galpão**

	Galpão 1			Galpão 2		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
<b>UPM 1</b>	1	3	7	13	11	22
<b>UPM 2</b>	23	2	9	16	15	4
<b>UPM 3</b>	5	20	8	14	17	18
<b>UPM 4</b>	21	24	6	10	12	19

O interesse no estudo separado por local de amostragem se baseia no fato de que estes locais correspondem às fases da vida dos animais, pois só é realizado o monitoramento dos gases nos locais onde os ventiladores estão funcionando. O funcionamento dos ventiladores está relacionado com a fase de vida dos animais.

A coleta de amostras no ponto 1 foi realizada apenas durante a primeira e segunda semanas de vida dos animais, na fase de pinteiro, quando a temperatura precisa ser mais alta porque os animais ainda não possuem sistema termoregulatório desenvolvido. A coleta de amostras no ponto 3 foi realizada quando os animais já eram adultos, da quinta a sétima semanas de vida dos animais, na fase de crescimento final e, ao contrário do ponto 1. A coleta de amostras no ponto 2 foi realizada em uma fase intermediária às fases correspondentes aos pontos 1 e 3, na terceira e quarta semanas de vida dos animais, correspondente à fase de crescimento inicial.

A faixa de temperatura de conforto para aves está apresentada na tabela 2.

**TABELA 2. Temperatura de conforto para frangos de corte**

<b>Idade</b>	<b>Faixa de Temperatura</b>
1ª semana	34-32°C
2ª semana	32-28°C
3ª semana	28-26°C
4ª semana	26-24°C

Adaptado de Freeman (1965); Macari, Furlan e Gonzáles (2002); Ávila (2004)

### **3.4.2 Cálculo da concentração média de amônia obtida pela UMMEA**

A coleta de amostras de ar pela UMMEA foi realizada alternativamente entre os locais de amostragem em funcionamento no momento, portanto o período de amostragem não é constante. O cálculo de cada média de concentração da UMMEA foi feito em intervalos de 1,5 minutos e alternou-se entre pontos de amostragem que estavam sendo utilizados no momento da coleta de amostras.

Na fase final da vida dos animais, apenas os ventiladores em modo túnel funcionaram, portanto a UMMEA só coletou amostras de ar no local 3. Entretanto, na fase intermediária da vida dos frangos, dependendo da temperatura, poderiam funcionar os ventiladores dos locais de amostragem 1 e 2 ou 2 e 3; nestes casos a UMMEA alterna a coleta de amostras entre os locais. Como o período de coleta de amostras de ar da UPM é constante e da UMMEA é inconstante, com isso pode gerar diferença na taxa de emissão média de cada um, independentemente da precisão dos mesmos.

### 3.4.3 Cálculo da taxa de ventilação

O Cálculo da Taxa de Ventilação  $Q_e$  foi feito com base na Equação 1

$$Q_e = VR \times \left( \frac{T_{std}}{T_e} \right) \times \left( \frac{P_a}{P_{std}} \right) \quad 1$$

Em que:

VR = Taxa de Ventilação calculada pela curva do ventilador ( $m^3/h$ );

$T_{std}$  = Temperatura Padrão (273,15 K);

$T_e$  = Temperatura Absoluta de fora do Galpão (K);

$P_a$  = Pressão Atmosférica Barométrica no local (KPa);

$P_{std}$  = Pressão Barométrica Padrão (101,325 KPa).

### 3.4.4 Cálculo da taxa de emissão

A taxa de emissão do gás foi calculada conforme a Equação 2

$$ER = Q_e \times 1 \times 10^{-6} \times [Gi] \times \left( \frac{w_m}{V_m} \right) \quad 2$$

Em que:

ER = Taxa de emissão de gás do galpão ( $g \times h^{-1}$ );

$Q_e$  = Taxa de ventilação de exaustão do galpão na temperatura e pressão barométrica da área ( $m^3 \times h^{-1}$ );

$[G_i]$  = Concentração do gás dentro do galpão ( $ppm_v$ );

$w_m$  = Peso molar do gás ( $17,031 g \times mol^{-1}$  para  $NH_3$ );

$V_m$  = Volume molar do gás nas CNTP ( $0,022414 m^3/mol$ ).

### 3.5. Análise estatística

A pesquisa de campo deste experimento foi conduzida em dois galpões similares de criação de frango de corte, cada um com três pontos de coleta de amostras de ar. Foram usadas quatro UPMs, as quais foram circulando entre os seis pontos de amostragem totais, sendo três em cada galpão, totalizando 24 repetições. Cada um destes pontos foi avaliado simultaneamente pela UMMEA, de maneira a se comparar os resultados obtidos. Cada monitoramento contínuo de 24 horas representou uma repetição. A emissão de amônia calculada utilizando-se os instrumentos UPM e UMMEA foi comparada para os mesmos períodos.

Os dados de concentração e emissão de amônia obtidos por ambos os equipamentos (UPM e UMMEA) foram tratados utilizando-se análise de regressão. Os modelos foram analisados com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, adotando-se o nível de 5% de probabilidade e no coeficiente de determinação. Para análise estatística dos resultados utilizou-se o programa SAEG 8.0 (Sistemas de Análises Estatísticas e Genéticas) desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa.

A metodologia utilizada para avaliação do desempenho dos instrumentos foi a concordância ou ajuste do modelo  $Y_{ij} = \alpha + \beta \times X_{ij} + \varepsilon_{ij}$ ,

Em que:

$Y_{ij}$  = medição da UPM;

$\alpha$  = coeficiente linear;

$\beta$  = coeficiente angular;

$X_{ij}$  = medição da UMMEA;

$\varepsilon_{ij}$  = erro experimental;

As hipóteses testadas foram:  $H_0: \beta=0$  vs  $H_1: \beta \neq 0$ .

Foram determinados os índices estatísticos de precisão (coeficiente de correlação,  $r$ ) (Equação 3) e de exatidão (índice de concordância,  $d$ ) (Equação 4) (WILLMOTT et al., 1985). Adicionalmente, foram calculados o erro médio de estimativa (MBE) e a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE), conforme as equações 5 e 6 mostradas abaixo (JACOVIDES e KONTOYIANNIS (1995).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n UPM (UMMEA - \overline{UMMEA})}{\left[ \sum_{i=1}^n (UMMEA - \overline{UMMEA})^2 \times \sum_{i=1}^n (UPM - \overline{UPM})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad 3$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (UPM - UMMEA)^2}{\sum_{i=1}^n (|UPM - \overline{UMMEA}| + |UMMEA - \overline{UPM}|)^2} \right] \quad 4$$

$$MBE = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^N (UPM - UMMEA) \quad 5$$

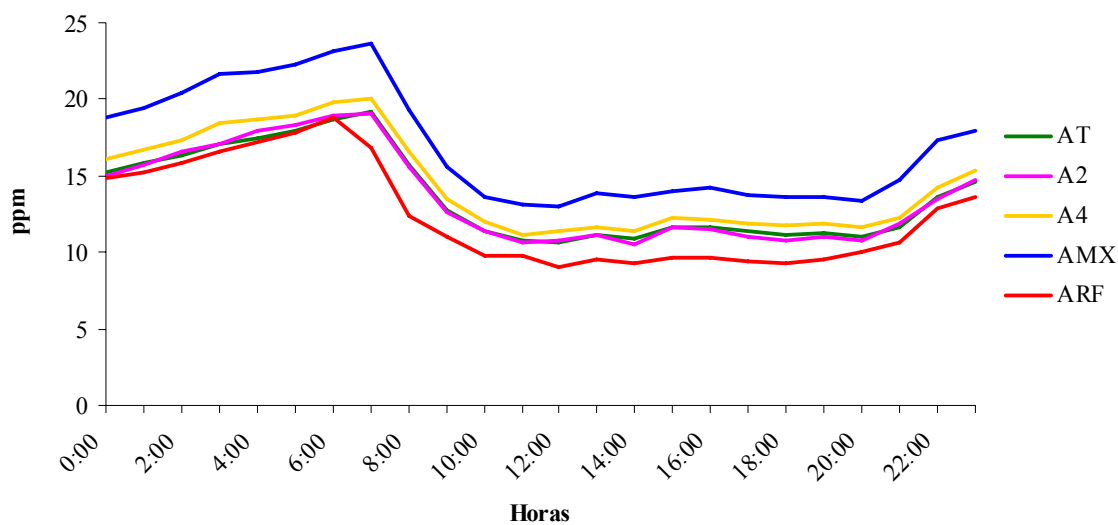
$$RMSE = \left( \frac{1}{24} \sum_{i=1}^N (UPM - UMMEA)^2 \right)^{1/2} \quad 6$$

## **4. Resultados e Discussão**

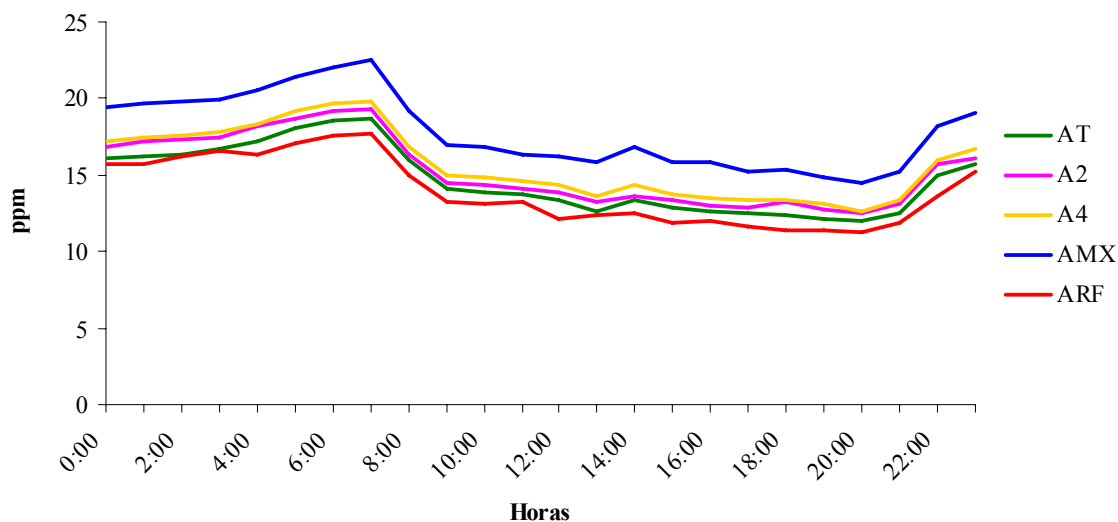
### **4.1. Avaliação das diferentes metodologias utilizadas para cálculo da concentração média de amônia com base nos valores instantâneos de concentração de amônia obtidos continuamente em um determinado período de tempo, por meio da UPM**

#### **4.1.1 Valores médios de concentração de amônia em cada local de coleta de amostras de ar**

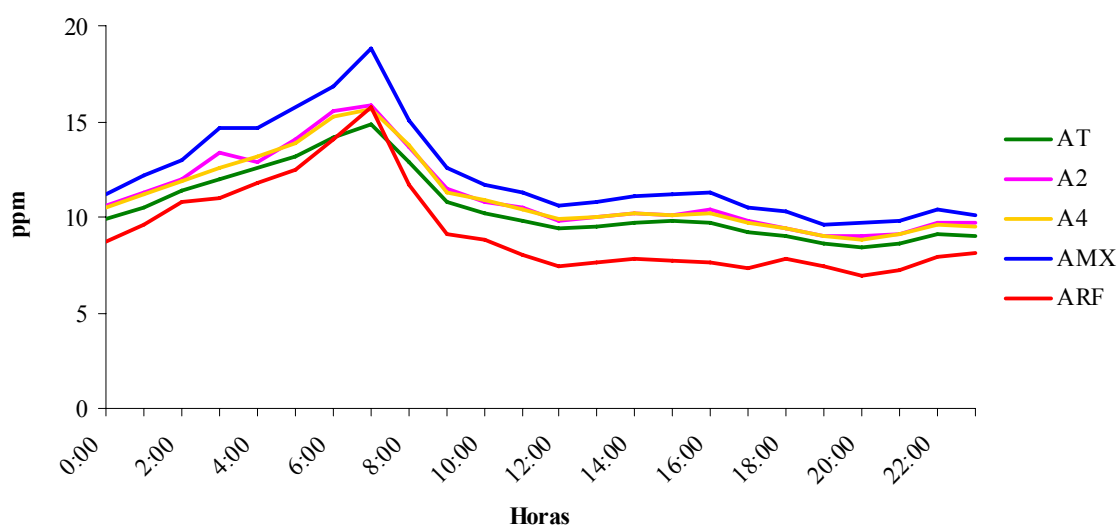
Os valores médios horários de concentração de amônia no ar, em partes por milhão (ppm), obtidos a partir da observação de 24 horas contínuas de monitoramento, com cada uma das 4 UPMs montadas para a pesquisa, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, respectivamente referentes à fase de pinteiro e ventilação mínima, fase de crescimento inicial e ventilação térmica e fase de crescimento final e ventilação térmica, utilizando-se o equipamento de referência UMMEA e as quatro diferentes metodologias de cálculo de médias avaliadas, denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos dois últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos quatro minutos intermediários; ao valor máximo, estão representados nas Figuras 17, 18 e 19.



**FIGURA 17.** Valores médios de concentração de amônia no ponto 1 de amostragem (fase de pinteiro, ventilação mínima), com as metodologias de cálculo da UPM, denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, e às médias de referência ARF.



**FIGURA 18.** Valores médios de concentração de amônia no ponto 2 de amostragem (crescimento inicial, ventilação térmica), com as metodologias de cálculo da UPM, denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, e às médias de referência ARF.



**FIGURA 19.** Valores médios de concentração de amônia no ponto 3 de amostragem (crescimento final, ventilação térmica) com as metodologias de cálculo da UPM, denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, e às médias de referência ARF.

Observa-se que os maiores valores de concentração média de amônia, em partes por milhão (ppm), nas três fases da vida dos animais, se encontram no período de 07:00 e 08:00 horas da manhã. Os maiores valores encontrados nesse período são explicados pelo fato de que nas horas mais frias do dia, durante a madrugada, nesta fase de pinteiro, a troca com o ar ambiente deve ser mínima, para não haver resfriamento do ar do galpão, pois os animais ainda não possuem sistema termoregulatório desenvolvido e, portanto, necessitam de altas temperaturas. A menor ventilação, isto é, a menor renovação do ar, provoca maior concentração de gases no interior dos galpões.

Com base nas figuras 17, 18 e 19, pode-se verificar que todas as metodologias utilizadas no cálculo da concentração média de amônia por meio dos valores obtidos pela UPM, apresentaram valores ligeiramente maiores que aqueles apresentados pelo equipamento de referência UMMEA, em todos os pontos de amostragem, isto é, nas três distintas condições, e em quase todos os horários de observação. Como no equipamento avaliado UPM são utilizados sensores eletroquímicos, que podem saturar quando expostos a altas concentrações de gases durante determinados períodos, esperava-se que este instrumento apresentasse valores superestimados em relação ao equipamento de referência UMMEA, conforme de fato ocorreu.

De acordo com as figuras 17, 18 e 19, foi possível perceber que a metodologia denominada AMX, na qual foi utilizado o valor máximo de concentração de amônia do período de amostragem da UPM para cálculo da concentração média, apresentou valores mais elevados que os demais. Essa diferença pode ser explicada pelo fato da leitura da UPM apresentar “picos” e possivelmente não se estabilizar no valor máximo de leitura, fazendo com que as médias obtidas por meio dos valores máximos da leitura sejam superestimadas.

Nos pontos de amostragem 1 (fase de pinteiro e ventilação mínima) e 2 (fase de crescimento inicial e ventilação térmica), a metodologia A4 apresentou valores maiores que os apresentados pelas metodologias AT e A2 e pelo equipamento de referência, porém menores que os valores apresentados pela metodologia AMX. Nesta metodologia, A4, foram considerados os 4 minutos intermediários entre os 6 minutos do período de amostragem da UPM. Como a curva referente às médias obtidas por meio desta metodologia encontra-se acima das curvas referentes às médias obtidas pelas metodologias AT e A2, nos pontos 1 e 2, é possível que o valor máximo de concentração do período (que provavelmente não é o valor no qual a leitura do instrumento se estabiliza) se encontre nestes 4 minutos intermediários, contribuindo para elevar a média em questão.

No ponto 3 de amostragem (fase de crescimento final e ventilação térmica), a metodologia A4 não diferiu consideravelmente das metodologias AT e A2, de acordo com a Figura 19. Como este ponto de coleta de amostras de ar é avaliado quando a taxa de ventilação é alta e, conseqüentemente, a concentração de amônia é baixa, provavelmente a exclusão do primeiro e último minutos (metodologia A4) ou a utilização dos dois últimos minutos, exceto o último valor (metodologia A2), não provoca alteração na média dos 6 minutos totais, utilizada na metodologia AT.

As curvas representativas dos valores de concentração de amônia obtidos pelas metodologias AT e A2 aparecem muito próximas nos três pontos de amostragem, como mostram as Figuras 17, 18 e 19. Na metodologia AT, considerando-se todos os valores do período de amostragem da UPM, estão inseridos o primeiro e o último valor da leitura da UPM, que são sabidamente influenciados pela troca de ciclo e, sendo assim, apresentam valores inferiores, devido à interferência do ar ambiente. No entanto, nesta metodologia também estão inseridos os “picos” de leitura de concentração de amônia, isto é, os valores

máximos, que contribuem para elevar a média dos valores lidos no período. Na metodologia A2 foram excluídos os valores de concentração de amônia que sofrem interferência do ar ambiente, isto é, o primeiro e o último valores observados no período de tempo considerado, bem como os valores intermediários, onde estão presentes os valores máximos de leitura, observando-se que a leitura ainda não está estabilizada neste momento. Foram considerados, portanto, os dois últimos minutos de leitura, excluindo-se apenas o último valor de concentração de amônia, levando-se em conta que estes mostram a leitura em um período de estabilidade, sem considerar valores que sofrem influência do ar ambiente presente nas tubulações e sensores. Pode-se verificar que, na metodologia AT, a presença dos valores inferiores (que sofrem interferência do ar ambiente no momento da mudança de ciclo de limpeza e amostragem) é compensada pela presença dos valores elevados (picos de leitura), resultando assim em uma média semelhante àquelas encontradas pela metodologia A2, na qual são excluídos estes valores menores e maiores.

#### **4.1.2 Comparação entre os valores médios de concentração de amônia obtidos com as quatro diferentes metodologias de cálculo da UPM e a UMMEA, em cada local de coleta de amostras de ar**

Nas Figuras 20, 21 e 22 encontram-se as equações de regressão linear ajustadas para os valores de concentração média de amônia, considerando-se a equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , na qual Y é o equipamento avaliado UPM, adotando-se as quatro diferentes metodologias de cálculo de médias avaliadas, denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos dois últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos quatro minutos intermediários; ao valor máximo, e X o equipamento de referência UMMEA, nos locais 1 (fase de pinteiro e ventilação mínima), 2 (fase de crescimento inicial e ventilação térmica) e 3 (fase de crescimento final e ventilação térmica) de coleta de amostras e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Os coeficientes das equações, os índices estatísticos e os erros estatísticos estão apresentados na Tabela 3. O coeficientes de regressão das equações,  $\beta$ , foram testados utilizando-se o teste “t” de Student, adotando-se o nível de 5% de probabilidade para as hipóteses  $H_0: \beta=0$  vs  $H_1: \beta \neq 0$ .

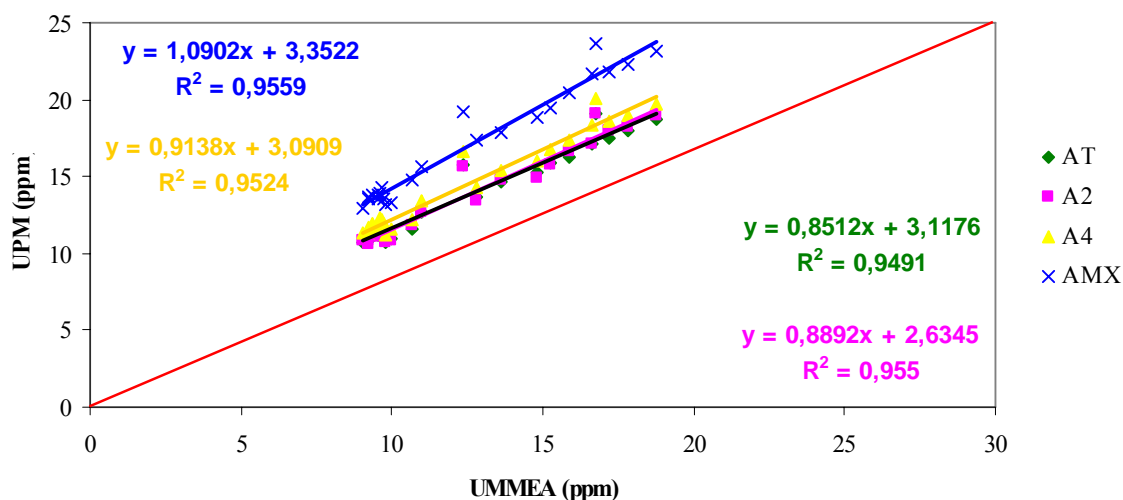


FIGURA 20. Regressão linear com base na equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , sendo Y o equipamento avaliado UPM, para as metodologias de cálculo de médias denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia, respectivamente, do período completo de amostragem; 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; 4 minutos intermediários; e valor máximo, e X o equipamento de referência UMMEA, no local 1 de amostragem (fase de pinteiro e ventilação mínima).

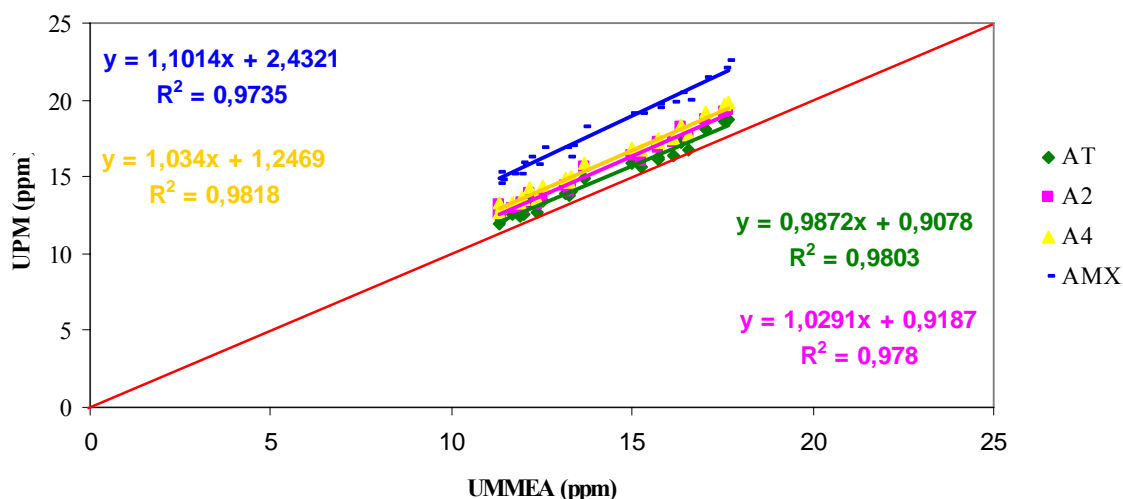
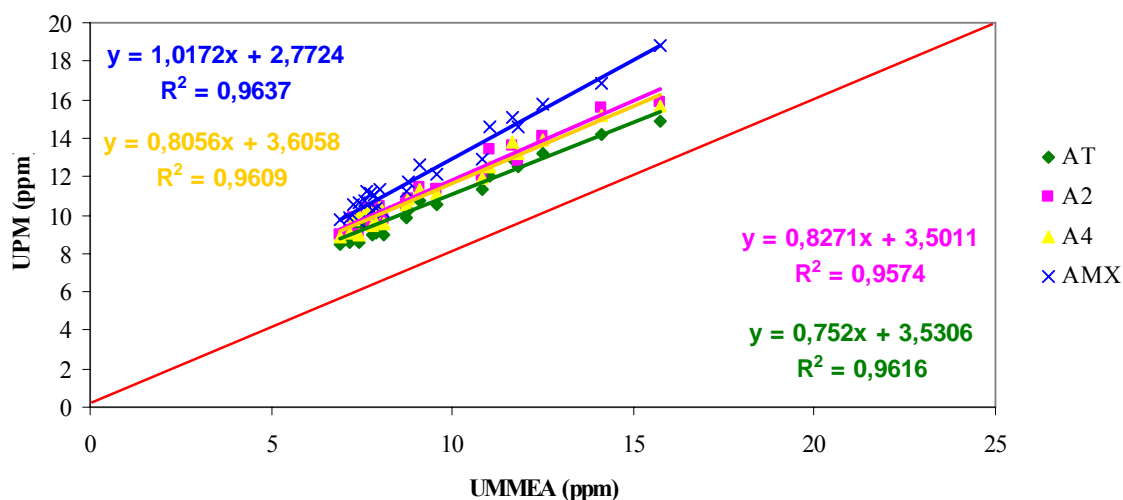


FIGURA 21. Regressão linear com base na equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , sendo Y o equipamento avaliado UPM, para as metodologias de cálculo de médias denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia, respectivamente, do período completo de amostragem; 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; 4 minutos intermediários; e valor máximo, e X o equipamento de referência UMMEA, no local 2 de amostragem (fase de crescimento inicial e ventilação térmica).



**FIGURA 22.** Regressão linear com base na equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , sendo Y o equipamento avaliado UPM, para as metodologias de cálculo de médias denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia, respectivamente, do período completo de amostragem; 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; 4 minutos intermediários; e valor máximo, e X o equipamento de referência UMMEA, no local 3 de amostragem (fase de crescimento final e ventilação térmica).

**TABELA 3.** Estimativa dos coeficientes de regressão da equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , índices estatísticos de precisão(r) e exatidão(d), erro médio de estimativa (MBE) e raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE), sendo Y o equipamento avaliado UPM, para as metodologias de cálculo de médias denominadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, e X o equipamento de referência UMMEA, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, respectivamente referentes a fase de pinteiro e ventilação mínima, crescimento inicial e ventilação térmica e crescimento final e ventilação térmica

		$\alpha$	$\beta$	r	d	MBE	RMSE
						ppm	ppm
Ponto 1	AT	3,1176	0,8512	0,9779	0,9402	1,27	1,50
	A2	2,6345	0,8892	0,9808	0,9462	1,26	1,45
	A4	3,0909	0,9138	0,9795	0,8908	2,02	2,14
	AMX	3,3522	1,0902	0,9812	0,7597	4,47	4,55
Ponto 2	AT	0,9078	0,9872	0,9884	0,9757	0,73	0,79
	A2	0,9187	1,0291	0,9872	0,9400	1,33	1,37
	A4	1,2469	1,0340	0,9891	0,9075	1,72	1,75
	AMX	2,4321	1,1014	0,9848	0,7919	3,85	3,88
Ponto 3	AT	3,5306	0,7520	0,9812	0,9657	1,23	1,40
	A2	3,5011	0,8271	0,9790	0,9242	1,89	1,98
	A4	3,6058	0,8056	0,9808	0,9421	1,80	1,89
	AMX	2,7724	1,0172	0,9822	0,9090	2,93	2,97

Os parâmetros da regressão linear foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t.

O teste t foi significativo para todas as metodologias, portanto a hipótese testada foi rejeitada, mostrando que o modelo é válido e existe uma associação linear entre as variáveis.

O ponto 1 de coleta de amostras, onde se encontram dois ventiladores destinados à ventilação mínima, foi utilizado durante a primeira e a segunda semanas de vida dos animais, quando estes necessitam de temperaturas mais elevadas. Nesta fase a taxa de ventilação do local é menor, para evitar perda de calor. A menor taxa de ventilação nesta fase leva à maior concentração de gases dentro do galpão, o que explica os maiores valores de concentração de amônia mostrados neste ponto de amostragem, comparativamente aos outros dois pontos (Pontos 2 e 3).

O ponto 3 de coleta de amostras, onde se encontram os dez ventiladores destinados à ventilação em modo túnel, foi utilizado nas últimas semanas de vida dos animais, quando estes são adultos e necessitam de temperaturas mais baixas. Nesta fase da vida dos animais, a taxa de ventilação é mais alta quando comparada com àquela da fase inicial da vida dos animais, para proporcionar redução da temperatura e, principalmente, para garantir a renovação higiênica do ar, pois a geração de gases nocivos ( $\text{CO}_2$ , Amônia, CO) é mais elevada em razão da maior taxa de respiração, maior deposição de dejetos e idade da cama.

O ponto 2 de coleta de amostras foi utilizado na fase intermediária às duas já apresentadas, na fase de transição da inicial para final da vida dos animais, apresentando valores de concentração de amônia também intermediários, conforme esperado.

O índice “d” mostra o grau de exatidão entre os valores do equipamento avaliado UPM e do equipamento de referência UMMEA. Portanto, quando mais próximo de 1, maior é a exatidão das medições de concentração de amônia do equipamento avaliado em comparação com as medições do equipamento de referência. Neste trabalho, os índices “d” se encontraram na faixa de 0,7597 e 0,9757, mostrando a necessidade de calibração de algumas das metodologias propostas. O índice “r” indica a precisão do modelo, e também apresentou valores aceitáveis, na faixa de 0,9779 a 0,9891. Portanto todas as metodologias avaliadas apresentaram grande precisão.

O parâmetro MBE é utilizado para quantificar a sub ou superestimativa do modelo. Todos os MBE encontrados neste trabalho apresentam valores positivos, indicando que os

valores encontrados pelo equipamento avaliado UPM tendem a superestimar os valores do equipamento de referência.

O parâmetro RMSE está relacionado com a quantificação da precisão do modelo, portanto, quanto mais próxima de zero, melhor é a performance do modelo. O maior valor de RMSE encontrado neste trabalho foi 4,54, com a utilização da metodologia AMX.

De acordo com o exposto, o equipamento avaliado UPM mostrou-se eficiente no monitoramento da concentração de amônia nas três situações apresentadas, ou seja: com taxa de ventilação baixa e concentração de amônia alta, taxa de ventilação e concentração de amônia médias e alta taxa de ventilação e baixa concentração de amônia. Portanto, a UPM mostrou-se indicada para monitorar a concentração de amônia em todas as fases de criação de frango de corte.

A metodologia AT foi a que apresentou resultados mais próximos aos apresentados pelo equipamento de referência UMMEA, mostrando-se, portanto, a mais adequada para utilização.

#### 4.1.3 Equações de calibração para utilização das metodologias apresentadas

A partir da inversão das equações de regressão linear apresentadas nas figuras 20, 21 e 22, foram obtidas as equações de calibração para as quatro metodologias avaliadas. As equações estão apresentadas na tabela 4.

**TABELA 4.** Equações ajustadas para utilização das metodologias apresentadas AT, A2, A4 e AMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia obtidos pela unidade avaliada UPM referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, respectivamente referentes a fase de pinteiro e ventilação mínima, crescimento inicial e ventilação térmica e crescimento final e ventilação térmica

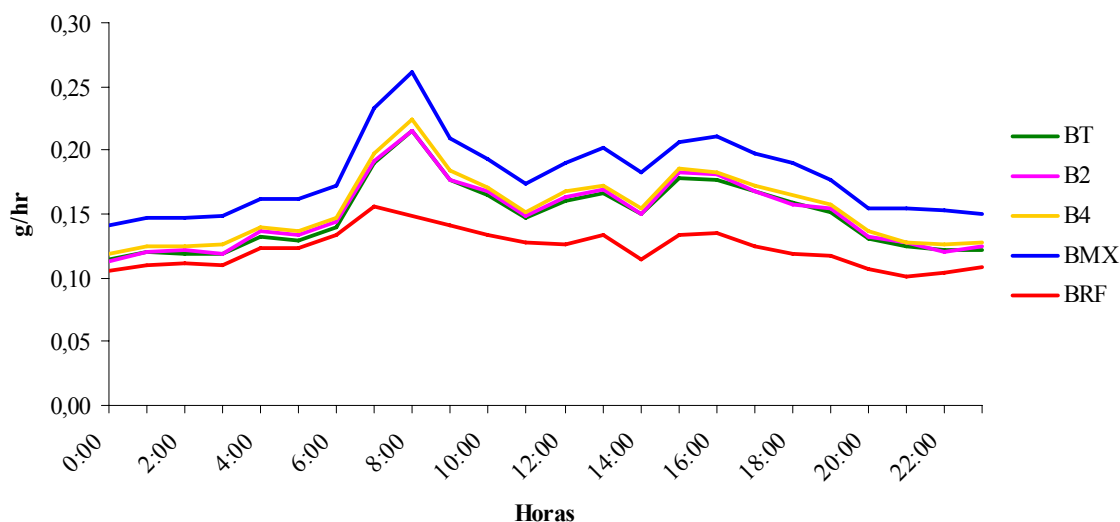
	Pontos de Amostragem		
	1	2	3
AT	$C = 1,1748_x C_{UPM} - 3,6626$	$C = 1,0130_x C_{UPM} - 0,9196$	$C = 1,3298_x C_{UPM} - 4,6949$
A2	$C = 1,1246_x C_{UPM} - 2,9628$	$C = 0,9717_x C_{UPM} - 0,8927$	$C = 1,2090_x C_{UPM} - 4,2330$
A4	$C = 1,0943_x C_{UPM} - 3,3825$	$C = 0,9671_x C_{UPM} - 1,2059$	$C = 1,2413_x C_{UPM} - 4,4759$
AMX	$C = 0,9173_x C_{UPM} - 3,0748$	$C = 0,9079_x C_{UPM} - 2,2082$	$C = 0,9831_x C_{UPM} - 2,7255$

## **4.2 Avaliação das diferentes metodologias utilizadas para cálculo da emissão de amônia**

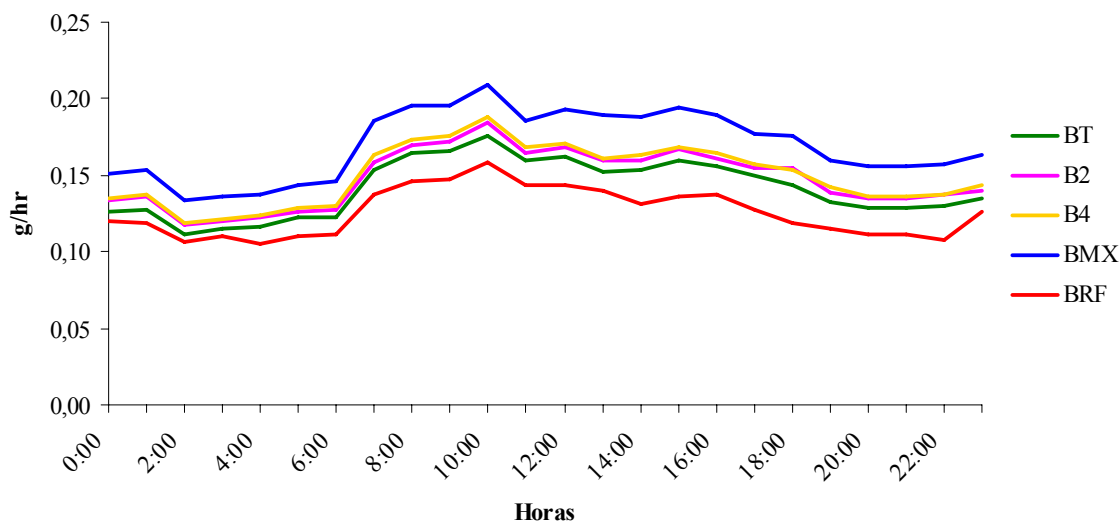
O cálculo da emissão de amônia foi realizado com base no produto da concentração de amônia registrada pelos equipamentos pela taxa de ventilação do local no qual estes se encontram. A taxa de ventilação é estimada a partir da pressão estática do local e da curva de funcionamento dos ventiladores, sendo, portanto, uma medida externa aos equipamentos comparados.

### **4.2.1 Valores médios de emissão de amônia para cada local de coleta de amostras de ar e metodologias de cálculo**

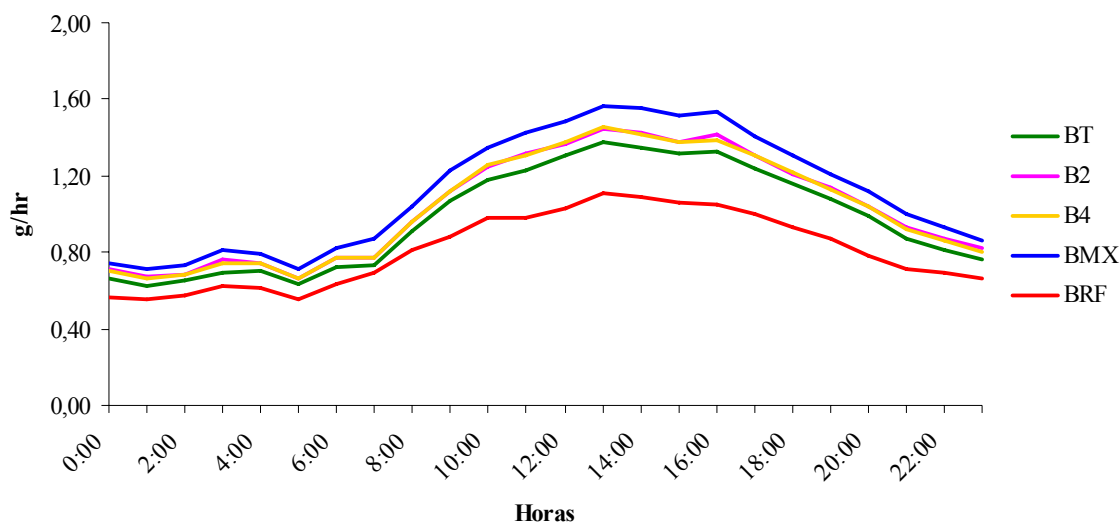
Os valores médios horários de emissão de amônia no ar, em gramas por hora (g/hr), calculados a partir da observação de 24 horas contínuas de monitoramento, com cada uma das 4 UPMs montadas para a pesquisa, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, respectivamente referentes a fase de pinteiro e ventilação mínima, fase de crescimento inicial e ventilação térmica e fase de crescimento final e ventilação térmica, utilizando-se o equipamento de referência UMMEA e as quatro diferentes metodologias de cálculo de média avaliadas para UPM, denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos dois últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos quatro minutos intermediários; ao valor máximo, multiplicados pela respectiva taxa de ventilação, são apresentados Figuras 23, 24 e 25.



**FIGURA 23.** Os valores médios horários de emissão de amônia no ar, do equipamento de referência UMMEA (BRF) e das 4 metodologias da UPM, denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo; multiplicados pela respectiva taxa de ventilação, no local 1 de amostragem (fase de pinteiro e ventilação mínima).



**FIGURA 24.** Os valores médios horários de emissão de amônia no ar, do equipamento de referência UMMEA (BRF) e das 4 metodologias da UPM, denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo; multiplicados pela respectiva taxa de ventilação, no local 2 de amostragem (fase de crescimento inicial e ventilação térmica).



**FIGURA 25.** Os valores médios horários de emissão de amônia no ar, do equipamento de referência UMMEA (BRF) e das 4 metodologias da UPM, denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo; multiplicados pela respectiva taxa de ventilação, no local 3 de amostragem (fase de crescimento final e ventilação térmica).

Com base na observação das Figuras 23, 24 e 25, pode-se verificar que a curva referente aos valores de emissão de amônia apresentados pelo equipamento avaliado UPM utilizando-se a metodologia BMX, na qual foram considerados os valores máximos de concentração de amônia do período de amostragem para cálculo da emissão média, é a que mais superestima os valores obtidos pelo instrumento de referência (BRF), embora todas as metodologias estudadas para o instrumento avaliado apresentem curvas superiores à curva de referência, assim como foi observado para os valores de concentração de amônia. A curva referente à metodologia BT é a que mais se aproxima da curva referente ao instrumento UMMEA.

Nos pontos 1 e 2 de amostragem (fase de pinteiro, ventilação mínima e fase de crescimento inicial, ventilação térmica, respectivamente), as metodologias BT e B2 de cálculo da emissão média, onde são utilizados, respectivamente, todos os valores de concentração de amônia do período de amostragem da UPM para cálculo da média e os últimos dois minutos excluindo-se o último valor de concentração de amônia do período de amostragem da UPM, apresentam curvas muito próximas, enquanto a curva referente à metodologia B4, onde são considerados os valores referentes aos quatro minutos

intermediários dos seis minutos do período de amostragem da UPM, encontra-se superior. As médias obtidas pela metodologia B4 envolvem os valores de concentração de amônia intermediários da leitura do equipamento avaliado, onde provavelmente se encontram os possíveis valores de “picos” de leitura, contribuindo para o aumento destas médias. No ponto 3 de amostragem (fase de crescimento final e ventilação térmica), as curvas referentes às metodologias B2 e B4 encontram-se sobrepostas e superiores à curva referente à metodologia BT. Como neste ponto a taxa de ventilação é alta e a concentração de amônia baixa, pode-se concluir que as médias obtidas pelas metodologias B2 e B4, não diferem entre si quando a concentração é baixa, isto é, a utilização dos valores referentes aos dois últimos minutos de amostragem ou aos quatro minutos intermediários é indiferente neste caso.

#### **4.2.2 Comparação entre os valores médios de emissão de amônia em cada local de coleta de amostras de ar**

Nas Figuras 26, 27 e 28 encontram-se as equações de regressão linear ajustadas para os valores de emissão média de amônia, considerando-se a equação  $Y_i = \beta X_i + e_i$ , na qual Y é o equipamento avaliado UPM, adotando-se as quatro diferentes metodologias de cálculo de médias avaliadas, denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos dois últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos quatro minutos intermediários; ao valor máximo, multiplicados pela respectiva taxa de ventilação, e X o equipamento de referência UMMEA, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, respectivamente referentes a fase de pinteiro e ventilação mínima, fase de crescimento inicial e ventilação térmica e fase de crescimento final e ventilação térmica e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Os coeficientes das equações, os índices estatísticos e os erros estatísticos estão apresentados na Tabela 5. Os coeficientes de regressão das equações,  $\beta$ , foram testados utilizando-se o teste “t” de Student, adotando-se o nível de 5% de probabilidade para as hipóteses  $H_0: \beta=0$  vs  $H_1: \beta \neq 0$ .

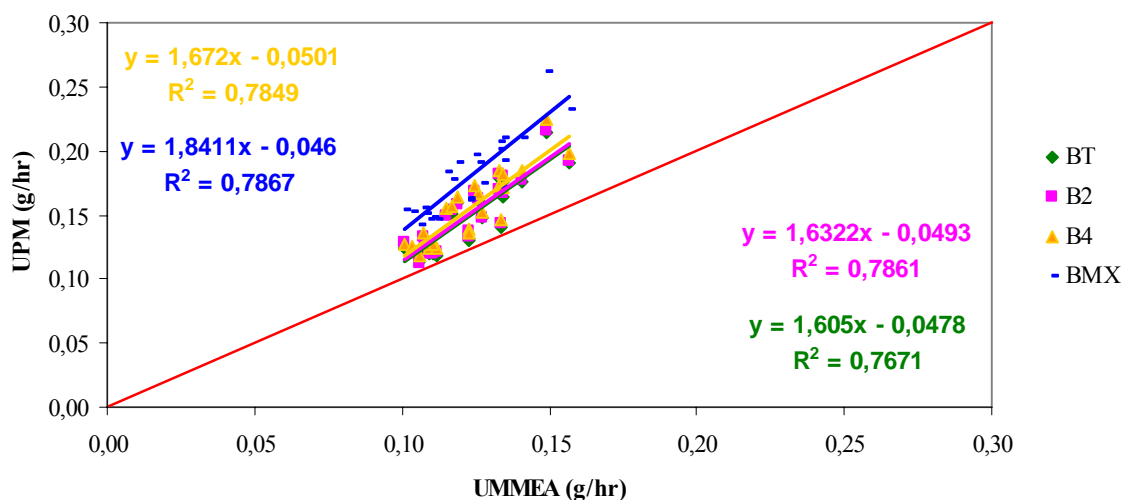


FIGURA 26. Regressão linear com base na equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , sendo Y o equipamento avaliado UPM, para as metodologias de cálculo de médias denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, multiplicados pela respectiva taxa de ventilação, e X o equipamento de referência UMMEA, no local 1 de amostragem (fase de pinteiro e ventilação mínima).

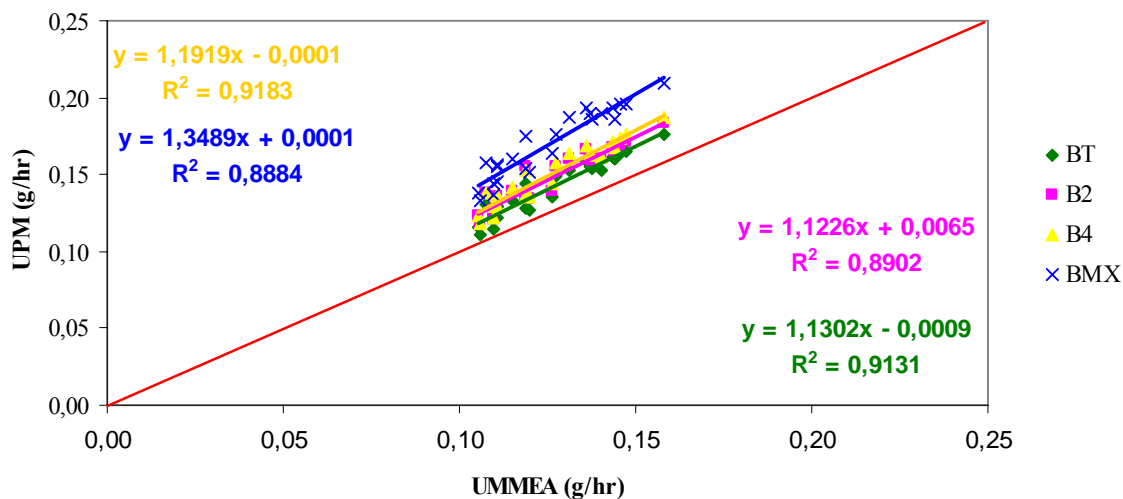
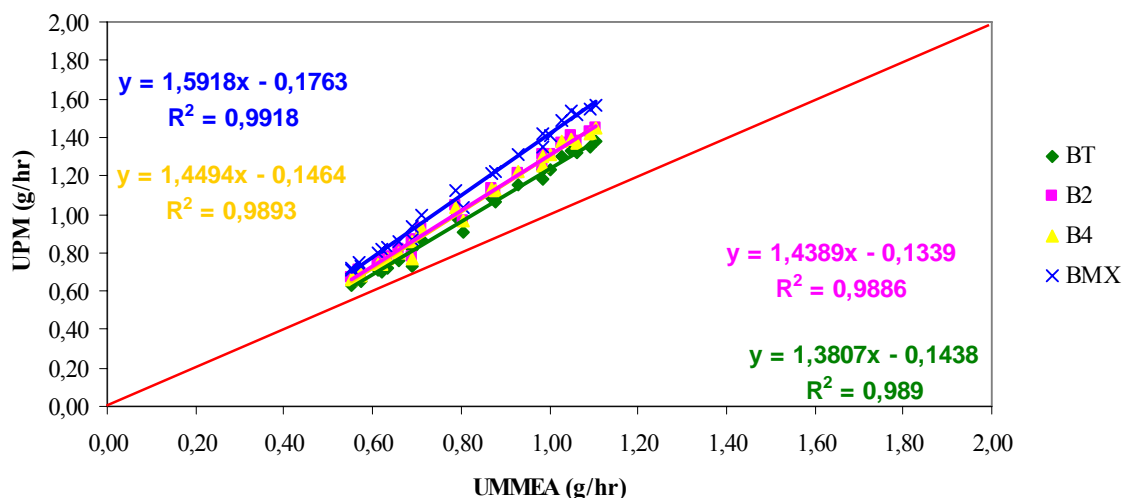


FIGURA 27. Regressão linear com base na equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , sendo Y o equipamento avaliado UPM, para as metodologias de cálculo de médias denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, multiplicados pela respectiva taxa de ventilação, e X o equipamento de referência UMMEA, no local 2 de amostragem (fase de crescimento inicial e ventilação térmica).



**FIGURA 28.** Regressão linear com base na equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , sendo Y o equipamento avaliado UPM, para as metodologias de cálculo de médias denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, multiplicados pela respectiva taxa de ventilação, e X o equipamento de referência UMMEA, no local 3 de amostragem (fase de crescimento final e ventilação térmica).

**TABELA 5.** Estimativa do Coeficiente de Regressão da equação  $Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i$ , sendo Y o equipamento avaliado UPM, utilizando-se 4 metodologias de cálculo de emissão de amônia denominadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, multiplicados pela respectiva taxa de ventilação e X o equipamento de referência UMMEA, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, respectivamente referentes a fase de pinteiro e ventilação mínima, fase de crescimento inicial e ventilação térmica e fase de crescimento final e ventilação térmica

		$\alpha$	$\beta$	r	d	MBE	RMSE
						g/hr	g/hr
Ponto 1	BT	-0,0478	1,6050	0,8946	0,6570	0,03	0,03
	B2	-0,0493	1,6322	0,9055	0,6411	0,03	0,03
	B4	-0,0501	1,6720	0,9049	0,6070	0,03	0,04
	BMX	-0,0460	1,8411	0,9069	0,5621	0,06	0,06
Ponto 2	BT	-0,0009	1,1302	0,9737	0,8740	0,02	0,02
	B2	0,0065	1,1226	0,9624	0,7496	0,02	0,02
	B4	-0,0001	1,1919	0,9766	0,7465	0,02	0,02
	BMX	0,0001	1,3489	0,9606	0,6773	0,04	0,04
Ponto 3	BT	-0,1438	1,3807	0,9944	0,9863	0,16	0,18
	B2	-0,1339	1,4389	0,9942	0,9780	0,22	0,24
	B4	-0,1464	1,4494	0,9946	0,9784	0,22	0,24
	BMX	-0,1763	1,5918	0,9958	0,9622	0,30	0,32

Os parâmetros da regressão linear foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t.

O teste t foi significativo para todas as metodologias, portanto a hipótese testada foi rejeitada, mostrando que o modelo é válido.

Na metodologia BMX foram utilizados os valores máximos de concentração de amônia registrados no período de amostragem do instrumento avaliado para o cálculo da concentração média horária. Estes valores máximos médios, juntamente com a taxa de ventilação, foram utilizados no cálculo da emissão média de amônia. Os pontos 2 e 3 de coleta de amostras de ar estão relacionados, respectivamente, à fase intermediária e final da vida dos animais, quando estes necessitam de temperaturas mais baixas que aquelas necessárias na fase inicial. O ponto 1 de coleta de amostras de ar está relacionado com a fase inicial de vida dos animais, quando estes necessitam de temperaturas mais elevadas, pois ainda não tem o sistema termorregulatório bem desenvolvido. Para manter a temperatura mais elevada no interior do galpão, é utilizada apenas a ventilação mínima, ou higiênica, para permitir a troca de ar, sem, contudo reduzir demais sua temperatura. Com isso, a concentração de gases é mais alta neste período, pois a taxa de ventilação, que dispersa os gases, é mais baixa. A metodologia na qual são utilizados os valores máximos de concentração de amônia verificados nos períodos de amostragem, resultou em valores superestimados de emissão de amônia, quando comparado ao equipamento UPM com o equipamento de referência UMMEA.

Na comparação dos valores de concentração média de amônia obtidos pela UPM, a metodologia AMX (na qual foi utilizado o valor máximo de concentração de amônia obtido em cada período de amostragem da UPM para cálculo da média) apresentou resultados estatisticamente similares aos apresentados pelo instrumento de referência, ARF (valores de concentração de amônia obtidos pelo equipamento de referência UMMEA). Contudo, a emissão de amônia apresentou valores estatisticamente diferentes, no ponto 1 de amostragem. Essa discrepância entre as diferenças estatísticas dos dados de concentração média de amônia e emissão média de amônia foi esperada devido ao fato da taxa de ventilação não ser constante, isto é, variar em função das horas do período de coleta de amostras de ar.

Para os valores de emissão de amônia, os índices “d” se encontraram na faixa de 0,5621 e 0,9863, mostrando uma exatidão baixa em algumas metodologias, como a AMX.

O índice “r”, que indica a precisão do equipamento avaliado, apresentou valores aceitáveis, na faixa de 0,8946 a 0,9958.

Todos os MBE encontrados neste trabalho apresentam valores positivos, indicando que os valores encontrados pelo equipamento avaliado UPM tendem a superestimar os valores do equipamento de referência. O maior valor de RMSE encontrado neste trabalho foi 0,3244g/hr, com a utilização da metodologia BMX.

#### 4.2.3 Equações de calibração para utilização das metodologias apresentadas

A partir da inversão das equações de regressão linear apresentadas nas figuras 26, 27 e 28, foram obtidas as equações de calibração para as quatro metodologias avaliadas. As equações estão apresentadas na tabela 6.

**TABELA 6.** Equações ajustadas para utilização das metodologias apresentadas BT, B2, B4 e BMX, nas quais são considerados os valores de concentração de amônia referentes, respectivamente, ao período completo de amostragem; aos 2 últimos minutos, excluindo-se o último valor; aos 4 minutos intermediários; ao valor máximo, multiplicados pela respectiva taxa de ventilação e X o equipamento de referência UMMEA, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, respectivamente referentes a fase de pinteiro e ventilação mínima, fase de crescimento inicial e ventilação térmica e fase de crescimento final e ventilação térmica

	Pontos de Amostragem		
	1	2	3
BT	$E = 0,6231_x E_{UPM} + 0,0298$	$E = 0,8848_x E_{UPM} + 0,0008$	$E = 0,7243_x E_{UPM} + 0,1042$
B2	$E = 0,6127_x E_{UPM} + 0,0302$	$E = 0,8908_x E_{UPM} - 0,0058$	$E = 0,6950_x E_{UPM} + 0,0931$
B4	$E = 0,5981_x E_{UPM} + 0,0300$	$E = 0,8390_x E_{UPM} + 0,0001$	$E = 0,6899_x E_{UPM} + 0,1010$
BMX	$E = 0,5432_x E_{UPM} + 0,0250$	$E = 0,7413_x E_{UPM} - 0,0001$	$E = 0,6282_x E_{UPM} + 0,1108$

## 5. Conclusões

Nas condições de realização deste experimento e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- As quatro metodologias de cálculo da média da concentração e emissão de amônia, com base nos valores obtidos pelo equipamento avaliado UPM (Unidade Portátil de Monitoramento), apresentaram valores semelhantes aos do equipamento considerado como referência UMMEA (Unidade Móvel de Monitoramento de Emissões no Ar).
- A metodologia para cálculo da concentração média de amônia da UPM que mais se aproximou dos valores obtidos pelo equipamento de referência UMMEA foi a denominada AT, na qual foram considerados todos os valores de cada período de amostragem da UPM.
- A metodologia para cálculo da emissão média de amônia, com base nos valores obtidos pelo equipamento avaliado UPM e na taxa de ventilação do local, que mais se aproximou dos valores obtidos pelo equipamento de referência UMMEA foi a denominada BT, na qual foram considerados todos os valores de concentração média de amônia de cada período de amostragem da UPM e as taxas de ventilação médias correspondentes aos mesmos horários.
- O equipamento avaliado UPM é uma alternativa confiável para ser utilizada no monitoramento contínuo de concentração e emissão de amônia em ambientes fechados e equipados com sistema de ventilação negativa.

## 6. Referências Bibliográficas

AARNINK, A.J.A. Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. Ph, teses. Rapport 97-03, IMAG-DLO, Wageningen, 1997. 175p.

ABEF. Informativo da Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango. Disponível em <http://www.abef.com.br>. Acessado em 14 de abril de 2007.

ABIPECS. Informativo da Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. Disponível em <http://www.abipecs.org.br>. Acessado em 14 de abril de 2007.

ANDERSEN, H. V.; HOVMAND, M. F.; HUMMELSHOJ, P.; JENSEN, N. O.; Atmospheric environment. 1999. vol. 33, nº9. 1367-1383p.

ÁVILA, V.S. Aspectos importantes a considerar na criação de frangos de corte no período frio. Versão eletrônica, 2004. Disponível em: [www.cnpsa.embrapa.br/?artigos/2004/artigo-2004-n015.html](http://www.cnpsa.embrapa.br/?artigos/2004/artigo-2004-n015.html), Acessado em 09 de novembro de 2004.

BAÊTA, F.C., SOUZA, C.F. Ambiência em edificações rurais: conforto animal. Viçosa:UFV, 1997;246p.

BRASIL. CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 003 de 28 de junho de 1990. Define os padrões nacionais de qualidade do ar.

CAMPOS, J.A. Qualidade do ar, ambiente térmico e desempenho animal em dois tipos de suinoculturas. Viçosa, MG: UFV, 2006. 60p. (Dissertação de mestrado em engenharia agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2006.

CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Agropecuária Brasileira: Uma Visão Geral. Disponível em: [http://www.cna.org.br/cna/publicacao/down\\_anexo.wsp?tmp.arquivo=E15\\_14985apresentacao\\_visao\\_geral\\_marco2007.pdf](http://www.cna.org.br/cna/publicacao/down_anexo.wsp?tmp.arquivo=E15_14985apresentacao_visao_geral_marco2007.pdf). Acesso em 15 de abril de 2007.

CORDEIRO, M.B. Avaliação de sistemas de camas sobrepostas quanto ao conforto térmico e ambiental e ao desempenho zootécnico para suínos nas fases de crescimento e terminação. Viçosa, MG: UFV, 2003. 62p. (Dissertação de mestrado em engenharia agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2003.

CURTIS, S.E. Environmental Management in animal agriculture. Ames, the Iowa State University Press. 1983. 410p.

EMBRAPA meio ambiente. Caracterização e Avaliação de práticas, processos e técnicas de produção agropecuária quanto às emissões de gases de efeito estufa. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index/php3?sec=agrog:::91> Acessado em 12 de dezembro de 2005.

FELIX, E.P.; CARDOSO, A.A. Amônia (NH<sub>3</sub>) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. Química Nova v.27 n<sup>o</sup>.1 São Paulo jan/fev. 2004

FREEDMAN, B.; Environmental Ecology, V2. Academic Press: Canadá, 1989.

FREEMAN, B.M. The relationship between oxygen consumption, body temperature and surface area in the hatching and young chick. Br. Poultry Science, 6:67-72.1965.

FREEMAN, B.M. The fowl and its physical environment. World's Poultry Science Journal. 1968. V.25. 99-111p.

FREIRE, R.S.; PESSOA, C.A.; KUBOTA, L.T. Self-assembled monolayers applications for the development of electrochemical sensors. Química Nova, Maio/Junho 2003, vol.26, no.3, p.381-389. ISSN 0100-4042.

GATES, R.S.; CASEY, K.D.; XIN, H.; WHEELER, E.F.; SIMMONS, J.D. Fan assessment numeration system (FANS) design and calibration specifications. Trans ASAE, 2004. V 47 (5):1709-1715p. ISSN 0001-2351.

GATES, R.S.; XIN, H.; WHEELER, E. Ammonia losses, evaluations and solutions for poultry systems. National Poultry Waste Management Symposium, Birmingham AL 28-30 October 2002 Pennsylvania State University, University Park, PA 6802, 2002.

GATES, R.S.; XIN, H.; CASEY, K.D.; LIANG, Y.; WHEELER, E.F. Method for Measuring Ammonia Emissions from Poultry Houses. J. Applied Poultry Res. 14:622-634, 2005.

GONZÁLES, E.; SALDANHA, E.S.P.B. Os primeiros dias de vida do frango e a produtividade futura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA. 2001. Goiânia. AZEG/ABZ. 312-313p.

GRAÇAS, A.S.; FONSECA, J.B.; SOARES, P.R. Densidade populacional de frangos de corte em diferentes épocas do ano. Revista Brasileira de Zootecnia, 1990. v.19, 186-196p.

HARRIS, D. B.; THOMPSON, Jr.; Vogel, C. A.; HASHMONAY, R. A.; NATSCHKE, D. A.; WAGONER, K.; YOST, M.G. Innovative approach for measuring ammonia and methane fluxes from a hog farm using open-path fourier transform infrared spectroscopy. Proceedings of the 94th Annual Conference of the Air & Waste Management Association, Orlando, FL, June 24-28, 2001.

JACOVIDES, C.P.; KONTOYIANNIS, H. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. Agricultural Water Management, v.27, p.365-371, 1995.

KOERKAMP, P. W. G. G.; MIDDELKOOP, J. H. van; ELLEN, H. H. Air quality management and requirements in Europe. In: Proceeding national poultry waste management symposium. Proceedings Auburn: Auburn University. 2000. 72-79p.

KRUPA, S. V.; In: Environmental Pollutant. 2003, 124-179p.

MACARI, M.; FURLAN, R.L. Ambiência na produção e aves em clima tropical. Editado por Iran José Oliveira da Silva – Piracicaba-SP:2001.31-87p.

MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. Fisiologia Aviária aplicada a frangos de corte 2. ed. Ampl. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002.

McCULLOCH, R. B.; SHENDRIKAR, A.D. Concurrent atmospheric ammonia measurements using citric-acid-coated diffusion denuders and a chemiluminescence analyzer. In: Atmospheric Environment V34: 2000. 4957-4958p.

MENEGALI, I. Diagnóstico da qualidade do ar na produção de frangos de corte em instalações semi-climatizadas por pressão negativa e positiva, no inverno, no sul do Brasil. Viçosa, MG:UFV, 2005.78p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MIRAGLIOTTA, M.Y.; NÄÄS, I.A.; BARACHO, M.S.; ALENCAR, M.C. Avaliação das condições do ambiente interno na produção comercial de frangos de corte em alta densidade. In: Poluentes Aéreos e ruídos em instalações para produção de animais. 10 de Setembro de 2002 – Campinas, Anais... São Paulo, Brasil, 2002. 111-126p.

NÄÄS, I.A. Estado da arte no Brasil e prospecção quanto a futuras pesquisas. In: Poluentes Aéreos e ruídos em instalação para produção e animais. 10 de Setembro de 2002 – Campinas, Anais...São Paulo, Brasil, 2002.3-15p.

PEREIRA, A.K. Fatores térmicos ambientais e qualidade do ar no desempenho produtivo de frangos de corte criados em alta densidade sob sistemas de ventilação positiva. Viçosa, MG:UFV, 2006.57p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2006.

SILVA, R.G. Introdução à bioclimatologia animal. São Paulo: Nobel, 2000; 286p.

STANLEY, V.G.; KRUEGER, W.F. The effect of stocking density on commercial broilers performance. In: Poultry Science, 1981. V.60, 1737-1738p.

TINÔCO, I.F.F., A granja de frango de corte. In: Produção de frangos de corte, editado por Ariel Antonio Mendes, Irenilza de Alencar Nääs e Marcos Macari. Campinas: FACTA, 2004.356p.

TINÔCO, I.F.F., GATES, R.S. Ambiência e construções para matrizes pesadas. Manejo de matrizes de corte, editado por Marcos Macari e Ariel Antonio Mendes. Campinas: FACTA, 2005. 11-31p.

USDA, 2005. World Broiler Trade Overview: 2004-2005. FAS Foreign Agricultural Service. Washington, D.C.: USDA National Agricultural Statistics Service. Disponível em: [www.fas.usda.gov/dlp/circular/2005/05-04LP/broileroverview.html](http://www.fas.usda.gov/dlp/circular/2005/05-04LP/broileroverview.html). Acessado em 28 de Abril de 2006.

WEAVER JUNIOR, W.D.; MEIJERHOF, R. The effect of different levels of relative humidity and air movement on litter conditions, ammonia levels, growth, and carcass quality for broiler chickens. In: Poultry Science, 1992. V.70, 746-755p.

WELLS, M.; CHOULARTON, T. W.; BOWER, K. N.; Atmospheric environment, 1998. V32, 359-365p.

WILHELM, L. R.; MILNER J.M.; SNYDER S.D.; McKINNEY D. An instrumentation system for environmental measurements in poultry and swine housing. In: Technical paper n. 993192. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI: ASAE 1999.

WILLMOTT, C.J.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R. ROWE, C.M.; ACKLESON, S.G.; O'DONNELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, Ottawa, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985.

XIN, H.; TANAKA A.; WANG T.; GATES R.S.; WHEELER E.F.; CASEY K.D.; HEBER A.J. A Portable System for Continuous Ammonia Measurement in the Field. In: ASAE Annual International Meeting, Chicago, 28-31 Julho. 2002.

## **Apêndice**

**TABELA A1. Exemplo do cálculo da concentração média de amônia utilizando-se as 4 diferentes metodologias AT, A2, A4 e AMX <sup>1</sup>**

Repetição 1							
Galpão A – A1 - UPM 1 Junho 28 e 29							
Data / Hora	Relógio	Concentração (ppm)		AT	A2	A4	AMX
HOBO 1	HOBO 1	DR1	DR2	Todos ON	Últimos 2 min	4 min	MAX Valor
06/28/06 14:09:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:10:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:10:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:11:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:11:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:12:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:12:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:13:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:13:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:14:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:14:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:15:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:15:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:16:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:16:30.0	OFF	3	2				
06/28/06 14:17:00.0	OFF	1	0				
06/28/06 14:17:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:18:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:18:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:19:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:19:30.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:20:00.0	OFF	0	0				
06/28/06 14:20:30.0	OFF	1	0				
06/28/06 14:21:00.0	OFF	8	6				
06/28/06 14:21:30.0	ON	13	12				
06/28/06 14:22:00.0	ON	13	12				
06/28/06 14:22:30.0	ON	15	14				
06/28/06 14:23:00.0	ON	14	14				
06/28/06 14:23:30.0	ON	15	15				
06/28/06 14:24:00.0	ON	15	15				
06/28/06 14:24:30.0	ON	14	14				
06/28/06 14:25:00.0	ON	13	13				
06/28/06 14:25:30.0	ON	13	12				
06/28/06 14:26:00.0	ON	13	12				
06/28/06 14:26:30.0	ON	13	12				
06/28/06 14:27:00.0	ON	6	6	12,83	12,63	13,81	15,00

<sup>1</sup> AT, A2, A4, AMX referem-se às metodologias de cálculo de concentração de amônia nas quais foram considerados, dentro do período de amostragem da UPM, respectivamente os valores de todo o período; dos 2 últimos minutos excluindo-se a última leitura; dos 4 minutos intermediários; e do valor máximo.

**TABELA A2. Exemplo do cálculo da concentração média horária de amônia utilizando-se as 4 diferentes metodologias AT, A2, A4 e AMX<sup>2</sup>**

<b>Data/Hora</b>	<b>AT</b>	<b>A2</b>	<b>A4</b>	<b>AMX</b>	<b>AT</b>	<b>A2</b>	<b>A4</b>	<b>AMX</b>		
<b>HOBO 1</b>	<b>Todos ON</b>	<b>Últimos 2 min</b>	<b>4 min</b>	<b>MAX Value</b>	<b>Todos ON</b>	<b>Últimos 2 min</b>	<b>4 min</b>	<b>MAX Value</b>	<b>Hora</b>	<b>ID</b>
06/28/06 14:07:00.0	13,92	14,63	14,50	16,00						
06/28/06 14:27:00.0	12,83	12,63	13,81	15,00						
06/28/06 14:47:00.0	12,54	13,50	13,13	14,00	<b>13,10</b>	<b>13,58</b>	<b>13,81</b>	<b>15,00</b>	<b>15:00</b>	1
06/28/06 15:07:00.0	13,46	13,50	13,63	15,50						
06/28/06 15:27:00.0	11,42	11,38	11,75	13,00						
06/28/06 15:47:00.0	12,13	12,13	12,31	13,50	<b>12,33</b>	<b>12,33</b>	<b>12,56</b>	<b>14,00</b>	<b>16:00</b>	2
06/28/06 16:07:00.0	11,54	11,50	11,31	13,50						
06/28/06 16:27:00.0	11,08	11,25	11,31	12,00						
06/28/06 16:47:00.0	10,71	10,63	10,88	12,00	<b>11,11</b>	<b>11,13</b>	<b>11,17</b>	<b>12,50</b>	<b>17:00</b>	3

<sup>2</sup> AT, A2, A4, AMX referem-se às metodologias de cálculo de concentração de amônia nas quais foram considerados, dentro do período de amostragem da UPM, respectivamente os valores de todo o período; dos 2 últimos minutos excluindo-se a última leitura; dos 4 minutos intermediários; e do valor máximo.

**TABELA A3. Exemplo de cálculo das Taxas de Emissão de Amônia (BT, B2, B4, BMX e BRF)<sup>3</sup> utilizando-se as 4 diferentes metodologias de cálculo de concentração média de amônia da UPM (AT, A2, A4 e AMX)<sup>3</sup>, a concentração média de amônia da UMMEA (ARF)<sup>3</sup> e a taxa de ventilação (VR)<sup>3</sup>**

<b>Repetição 1</b>											
<b>Galpão A - A1 - UPM 1 Junho 28 e 29</b>											
	UPM Concentração ppm				UMMEA ppm	VR	UPM Taxa de Emissão g/hr				UMMEA g/hr
Hora	AT	A2	A4	AMX	ARF	m <sup>3</sup> /min	BT	B2	B4	BMX	BRF
15:00	13,10	13,58	13,81	15,00	12,96	28448	0,2833	0,2938	0,2988	0,3244	0,2804
16:00	12,33	12,33	12,56	14,00	11,53	28576	0,2680	0,2680	0,2730	0,3042	0,2506
17:00	11,11	11,13	11,17	12,50	10,48	28466	0,2405	0,2408	0,2417	0,2705	0,2269
18:00	10,11	10,17	10,33	11,67	9,44	27935	0,2148	0,2159	0,2195	0,2478	0,2006
19:00	8,36	8,67	8,76	9,17	8,36	27476	0,1746	0,1811	0,1829	0,1915	0,1746
20:00	8,40	8,88	8,65	9,50	7,86	27410	0,1751	0,1850	0,1802	0,1980	0,1638
21:00	12,56	13,54	12,90	14,00	10,75	20884	0,1994	0,2150	0,2048	0,2223	0,1707
22:00	17,03	17,25	17,50	20,67	16,56	11036	0,1429	0,1447	0,1468	0,1734	0,1389
23:00	16,93	17,21	17,29	18,67	17,27	6021	0,0775	0,0788	0,0792	0,0855	0,0790
0:00	18,88	19,67	20,08	21,17	19,70	5771	0,0828	0,0863	0,0881	0,0929	0,0864
1:00	20,14	20,21	20,92	22,00	20,30	5527	0,0846	0,0849	0,0879	0,0925	0,0853
2:00	19,89	19,29	19,81	21,50	20,95	8442	0,1277	0,1238	0,1272	0,1380	0,1344
3:00	22,31	22,17	22,88	24,83	22,54	6605	0,1120	0,1113	0,1149	0,1247	0,1132
4:00	21,65	22,50	22,73	24,50	21,01	7636	0,1257	0,1306	0,1320	0,1422	0,1220
5:00	25,46	25,58	26,08	28,33	25,75	6071	0,1175	0,1181	0,1204	0,1308	0,1189
6:00	27,63	26,88	27,79	30,83	28,50	5824	0,1223	0,1190	0,1231	0,1366	0,1262
7:00	27,38	25,83	28,08	31,17	22,94	11234	0,2338	0,2207	0,2399	0,2662	0,1960
8:00	16,77	17,13	17,16	19,50	15,64	17912	0,2285	0,2332	0,2337	0,2656	0,2129
9:00	12,54	12,54	12,79	13,50	11,60	26954	0,2570	0,2570	0,2622	0,2767	0,2376
10:00	10,58	10,42	10,63	11,17	9,76	26669	0,2146	0,2112	0,2154	0,2264	0,1978
11:00	9,26	9,29	9,44	10,17	8,06	26183	0,1844	0,1850	0,1879	0,2024	0,1604
12:00	9,99	10,29	10,44	11,17	8,99	26619	0,2022	0,2083	0,2112	0,2260	0,1819
13:00	11,39	11,67	11,67	12,33	10,73	28158	0,2438	0,2498	0,2498	0,2640	0,2298

<sup>3</sup> As metodologias de cálculo de emissão média de amônia BT, B2, B4, BMX e BRF referem-se ao produto da taxa de ventilação pela concentração média de amônia, respectivamente, AT, A2, A4, AMX e ARF, nas quais foram considerados todos os valores de todo o período de amostragem da UPM; os 2 últimos minutos excluindo-se a última leitura do período de amostragem da UPM; os 4 minutos intermediários do período de amostragem da UPM; o valor máximo do período de amostragem da UPM e a média da UMMEA.

**TABELA A4. Valores horários médios de concentração de amônia (ppm), calculados a partir da observação de 24 horas contínuas de monitoramento, com cada uma das 4 UPMs montadas para a pesquisa, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, com as quatro metodologias avaliadas (AT, A2, A4 e AMX) para UPM e com a UMMEA<sup>4</sup>**

Ponto	Hora	AT	A2	A4	AMX	ARF
<b>1</b>	0:00	15,2153	14,9583	16,0569	18,8542	14,7977
	1:00	15,8297	15,7188	16,7001	19,4167	15,2458
	2:00	16,2891	16,6458	17,3497	20,4375	15,8688
	3:00	17,1293	17,0938	18,3802	21,6458	16,6044
	4:00	17,4510	17,9688	18,6405	21,7708	17,2049
	5:00	17,9223	18,2552	18,9908	22,2500	17,8059
	6:00	18,7222	18,9792	19,7422	23,1042	18,7640
	7:00	19,1223	19,1146	20,0294	23,6875	16,7881
	8:00	15,7125	15,6250	16,5993	19,2708	12,3926
	9:00	12,7063	12,6250	13,4494	15,6042	10,9657
	10:00	11,3250	11,4167	11,9546	13,6042	9,7433
	11:00	10,7120	10,6979	11,1908	13,1458	9,7970
	12:00	10,6961	10,7917	11,3397	12,9792	9,0575
	13:00	11,1488	11,1771	11,6879	13,8333	9,5191
	14:00	10,8722	10,5595	11,3508	13,5714	9,2388
	15:00	11,6807	11,6927	12,2783	13,9583	9,6147
	16:00	11,6354	11,5417	12,1849	14,2500	9,6626
	17:00	11,3758	11,0521	11,8843	13,7708	9,3660
	18:00	11,1667	10,7969	11,7526	13,6250	9,2526
	19:00	11,2297	11,0365	11,8636	13,6042	9,5531
	20:00	10,9626	10,7813	11,6101	13,3542	10,0046
	21:00	11,6354	11,8229	12,1953	14,7500	10,6607
	22:00	13,6432	13,4479	14,2496	17,3333	12,8315
	23:00	14,6340	14,7500	15,3717	17,9167	13,6398
<b>2</b>	0:00	16,0832	16,8906	17,2504	19,4167	15,7406
	1:00	16,2569	17,2135	17,4948	19,6667	15,7262
	2:00	16,3870	17,3021	17,5472	19,8333	16,1610
	3:00	16,7006	17,4531	17,7624	19,9583	16,5532
	4:00	17,2415	18,1979	18,2984	20,5000	16,3724
	5:00	18,0643	18,6771	19,1563	21,3750	17,0430
	6:00	18,6106	19,2448	19,7232	22,0417	17,5822
	7:00	18,6907	19,3073	19,8427	22,5000	17,6529
	8:00	15,9069	16,3646	16,8605	19,1250	14,9794
	9:00	14,0715	14,5417	15,0350	17,0000	13,2863
	10:00	13,8651	14,4115	14,8466	16,8333	13,1356
	11:00	13,7315	14,0781	14,6120	16,2917	13,2745
	12:00	13,3056	13,8802	14,3147	16,2083	12,1708
	13:00	12,6239	13,2135	13,5893	15,7917	12,3620
	14:00	13,3663	13,6548	14,3797	16,8571	12,5146
15:00	12,8325	13,3073	13,7064	15,8333	11,9274	

<sup>4</sup> AT, A2, A4, AMX referem-se às metodologias de cálculo de concentração de amônia nas quais foram considerados, dentro do período de amostragem da UPM, respectivamente os valores de todo o período; dos 2 últimos minutos excluindo-se a última leitura; dos 4 minutos intermediários; e do valor máximo

	16:00	12,6128	12,9688	13,5223	15,7917	12,0052
	17:00	12,5546	12,9115	13,3505	15,2083	11,6744
	18:00	12,4051	13,1823	13,3151	15,2917	11,3397
	19:00	12,1359	12,7188	13,0960	14,8333	11,3911
	20:00	11,9658	12,5052	12,6678	14,5417	11,3067
	21:00	12,4874	13,0573	13,3177	15,1667	11,9118
	22:00	14,9461	15,6875	15,9189	18,2500	13,6729
	23:00	15,6880	16,0677	16,7218	19,0417	15,2430
<b>3</b>	0:00	9,8692	10,5625	10,4940	11,2083	8,7605
	1:00	10,5434	11,3281	11,1432	12,1667	9,5854
	2:00	11,3711	12,0000	11,9225	12,9524	10,8255
	3:00	12,0065	13,3889	12,5466	14,6111	11,0287
	4:00	12,5448	12,8333	13,1781	14,6111	11,8119
	5:00	13,1672	14,0417	13,8503	15,7619	12,5139
	6:00	14,1757	15,5833	15,2196	16,8571	14,0955
	7:00	14,8522	15,8594	15,6715	18,8333	15,7385
	8:00	12,9149	13,6406	13,7656	15,0833	11,6582
	9:00	10,7555	11,4427	11,2868	12,5833	9,0766
	10:00	10,2201	10,7969	10,8523	11,7083	8,7826
	11:00	9,8447	10,4702	10,4401	11,3333	8,0192
	12:00	9,3652	9,8438	9,9089	10,6250	7,4377
	13:00	9,5076	9,9635	10,0086	10,7500	7,6018
	14:00	9,6850	10,2448	10,1581	11,0833	7,8320
	15:00	9,7544	10,1146	10,1331	11,1667	7,7439
	16:00	9,7483	10,3906	10,1987	11,2500	7,6399
	17:00	9,2043	9,8073	9,7480	10,5417	7,2808
	18:00	8,9697	9,4427	9,4222	10,2917	7,7904
	19:00	8,5759	8,9844	8,9706	9,6250	7,4162
	20:00	8,4601	8,9948	8,8315	9,7083	6,9045
	21:00	8,6015	9,1146	9,0986	9,8333	7,1839
	22:00	9,0853	9,6875	9,5959	10,3750	7,8848
23:00	9,0108	9,7143	9,5289	10,1429	8,1133	

<sup>1</sup> AT, A2, A4, AMX referem-se às metodologias de cálculo de concentração de amônia nas quais foram considerados, dentro do período de amostragem da UPM, respectivamente os valores de todo o período; dos 2 últimos minutos excluindo-se a última leitura; dos 4 minutos intermediários; e do valor máximo

**TABELA A5. Valores horários médios de emissão de amônia no ar (g/hr) calculados a partir da observação de 24 horas contínuas de monitoramento, com cada uma das 4 UPMs, nos locais 1, 2 e 3 de amostragem dos galpões, com as quatro metodologias avaliadas (BT, B2, B4 e BMX) e com a UMMEA<sup>5</sup>**

Ponto	Hora	BT	B2	B4	BMX	BRF
<b>1</b>	0:00	0,1138	0,1124	0,1185	0,1412	0,1057
	1:00	0,1199	0,1200	0,1248	0,1468	0,1092
	2:00	0,1183	0,1219	0,1244	0,1464	0,1117
	3:00	0,1193	0,1192	0,1268	0,1485	0,1106
	4:00	0,1316	0,1368	0,1392	0,1620	0,1226
	5:00	0,1298	0,1336	0,1363	0,1616	0,1225
	6:00	0,1399	0,1440	0,1469	0,1718	0,1334
	7:00	0,1907	0,1922	0,1977	0,2326	0,1565
	8:00	0,2149	0,2153	0,2249	0,2609	0,1488
	9:00	0,1764	0,1770	0,1843	0,2091	0,1409
	10:00	0,1647	0,1676	0,1712	0,1926	0,1341
	11:00	0,1472	0,1482	0,1519	0,1745	0,1270
	12:00	0,1608	0,1630	0,1672	0,1908	0,1261
	13:00	0,1666	0,1698	0,1722	0,2014	0,1331
	14:00	0,1507	0,1495	0,1548	0,1827	0,1148
	15:00	0,1782	0,1823	0,1851	0,2065	0,1331
	16:00	0,1765	0,1808	0,1822	0,2105	0,1344
	17:00	0,1677	0,1680	0,1724	0,1969	0,1247
	18:00	0,1594	0,1580	0,1647	0,1902	0,1186
	19:00	0,1507	0,1540	0,1572	0,1769	0,1166
	20:00	0,1308	0,1327	0,1363	0,1545	0,1071
	21:00	0,1241	0,1280	0,1277	0,1544	0,1007
	22:00	0,1218	0,1209	0,1257	0,1526	0,1036
	23:00	0,1225	0,1250	0,1277	0,1501	0,1077
<b>2</b>	0:00	0,1265	0,1337	0,1352	0,1515	0,1199
	1:00	0,1275	0,1357	0,1371	0,1540	0,1190
	2:00	0,1110	0,1176	0,1187	0,1335	0,1058
	3:00	0,1145	0,1201	0,1215	0,1364	0,1097
	4:00	0,1163	0,1228	0,1231	0,1380	0,1055
	5:00	0,1220	0,1269	0,1289	0,1436	0,1099
	6:00	0,1223	0,1277	0,1297	0,1455	0,1109
	7:00	0,1538	0,1586	0,1629	0,1855	0,1376
	8:00	0,1642	0,1692	0,1731	0,1960	0,1455
	9:00	0,1655	0,1715	0,1757	0,1960	0,1473
	10:00	0,1756	0,1838	0,1875	0,2095	0,1582
	11:00	0,1597	0,1647	0,1680	0,1859	0,1439
	12:00	0,1617	0,1677	0,1710	0,1929	0,1433
	13:00	0,1524	0,1598	0,1614	0,1891	0,1403
14:00	0,1530	0,1597	0,1633	0,1878	0,1309	

<sup>5</sup> As metodologias de cálculo de emissão média de amônia BT, B2, B4, BMX e BRF referem-se ao produto da taxa de ventilação pela concentração média de amônia, respectivamente, AT, A2, A4, AMX e ARF, nas quais foram considerados todos os valores de todo o período de amostragem da UPM; os 2 últimos minutos excluindo-se a última leitura do período de amostragem da UPM; os 4 minutos intermediários do período de amostragem da UPM; o valor máximo do período de amostragem da UPM e a média da UMMEA.

	15:00	0,1592	0,1667	0,1681	0,1938	0,1360
	16:00	0,1556	0,1608	0,1641	0,1893	0,1370
	17:00	0,1495	0,1549	0,1572	0,1767	0,1277
	18:00	0,1436	0,1552	0,1529	0,1753	0,1187
	19:00	0,1330	0,1388	0,1420	0,1598	0,1149
	20:00	0,1288	0,1352	0,1357	0,1556	0,1110
	21:00	0,1291	0,1355	0,1362	0,1562	0,1110
	22:00	0,1300	0,1380	0,1375	0,1572	0,1074
	23:00	0,1351	0,1393	0,1437	0,1639	0,1261
<b>3</b>	0:00	0,6651	0,7085	0,7065	0,7463	0,5693
	1:00	0,6264	0,6735	0,6618	0,7130	0,5507
	2:00	0,6542	0,6814	0,6839	0,7295	0,5748
	3:00	0,6968	0,7623	0,7377	0,8134	0,6216
	4:00	0,7067	0,7377	0,7432	0,7946	0,6108
	5:00	0,6310	0,6674	0,6596	0,7164	0,5539
	6:00	0,7227	0,7762	0,7719	0,8231	0,6339
	7:00	0,7289	0,7745	0,7678	0,8670	0,6892
	8:00	0,9097	0,9617	0,9634	1,0362	0,8072
	9:00	1,0645	1,1150	1,1221	1,2234	0,8767
	10:00	1,1779	1,2482	1,2532	1,3465	0,9836
	11:00	1,2285	1,3120	1,3043	1,4211	0,9840
	12:00	1,3031	1,3646	1,3779	1,4861	1,0283
	13:00	1,3785	1,4441	1,4518	1,5665	1,1050
	14:00	1,3487	1,4294	1,4155	1,5514	1,0931
	15:00	1,3184	1,3760	1,3719	1,5136	1,0624
	16:00	1,3258	1,4136	1,3885	1,5320	1,0483
	17:00	1,2343	1,3097	1,3068	1,4071	1,0023
	18:00	1,1546	1,2078	1,2185	1,3102	0,9289
	19:00	1,0804	1,1360	1,1315	1,2077	0,8686
	20:00	0,9894	1,0419	1,0380	1,1195	0,7871
	21:00	0,8704	0,9276	0,9223	0,9961	0,7113
	22:00	0,8138	0,8702	0,8614	0,9313	0,6893
23:00	0,7597	0,8193	0,8018	0,8594	0,6594	

<sup>5</sup> As metodologias de cálculo de emissão média de amônia BT, B2, B4, BMX e BRF referem-se ao produto da taxa de ventilação pela concentração média de amônia, respectivamente, AT, A2, A4, AMX e ARF, nas quais foram considerados todos os valores de todo o período de amostragem da UPM; os 2 últimos minutos excluindo-se a última leitura do período de amostragem da UPM; os 4 minutos intermediários do período de amostragem da UPM; o valor máximo do período de amostragem da UPM e a média da UMMEA.