

FERNANDA CAMPOS DE SOUSA

**POTENCIAL DE GERAÇÃO E EMISSÃO DE AMÔNIA PELA AVICULTURA  
DE CORTE DO BRASIL**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S725p  
2018  
Sousa, Fernanda Campos de, 1985-  
Potencial de geração e emissão de amônia pela avicultura  
de corte do Brasil : . / Fernanda Campos de Sousa. – Viçosa,  
MG, 2018.  
x, 146f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Frango de Corte. 2. Instalações. 3. Fatores climáticos.  
4. Qualidade do ar. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Doutorado em  
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.2

FERNANDA CAMPOS DE SOUSA

**POTENCIAL DE GERAÇÃO E EMISSÃO DE AMÔNIA PELA AVICULTURA  
DE CORTE DO BRASIL**

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

APROVADA: 26 de fevereiro de 2018.

---

Fátima de Jesus Folgôa Baptista  
(Coorientadora)

---

Vasco Manuel Fitas da Cruz

---

Marcos Oliveira de Paula

---

Jadir Nogueira da Silva

---

Ilda de Fátima Ferreira Tinôco  
(Orientadora)

Aos meus queridos pais,  
Ao meu maior exemplo, meu avô Grécio (*in memoriam*)  
Ao meu amor Alex Lopes.

**Dedico!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo o que proporciona na minha vida, por todas as pessoas e oportunidades que coloca no meu caminho e por ter estado sempre comigo principalmente nos momentos mais difíceis durante esses últimos anos no doutorado.

Ao meu noivo/marido Alex pelo amor, dedicação, cumplicidade, amizade, paciência, enfim, por toda a ajuda no experimento, no laboratório, na estatística, na vida... Obrigada por ter cuidado com tanto carinho de mim nesses últimos anos e por ter caminhado ao meu lado. Com você essa jornada acadêmica foi mais fácil e feliz.

Aos meus avós pelas orações, especialmente ao meu avô Grécio, por ser meu maior exemplo, em sua simplicidade e carinho sempre nos mostrou o melhor caminho a seguir, tenho certeza que onde estiver continua torcendo por mim.

Aos meus pais, José Luiz e Malvina, meus irmãos, meus amados sobrinhos e afilhados, enfim a toda minha família, pelo amor incondicional, incentivo e carinho de sempre mesmo com todas as ausências.

Especial agradecimento à minha orientadora, Profa. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, por todo o apoio, incentivo, exemplo, amizade e confiança, pelos sábios ensinamentos que se estenderam além da orientação no doutorado mas serviram para todos os aspectos da vida.

Aos meus co-orientadores Profa. Fátima Baptista, Profa. Cecília Souza, Prof. Fernando Baêta, Prof. Matteo Barbari e Prof. Jairo Alexander, por todo o apoio, por sábias e oportunas sugestões. Especial agradecimento a Profa. Fátima por ter me recebido e acolhido como filha durante o Doutorado Sanduíche em Évora-Portugal e por toda a ajuda de sempre.

Aos Professores Marcos Oliveira de Paula e Jadir Nogueira da Silva por aceitarem participar da banca, por todas as colaborações no doutorado e principalmente porque sempre estiveram dispostos e prontos a ajudar todas as vezes que precisei.

Ao Prof. Vasco Fitas, por todo o apoio em Portugal, onde nos recebeu com tanto carinho e nos adotou como filhos, sempre disposto a ajudar no que fosse preciso, e também pelas colaborações nesse trabalho.

Aos colegas do Ambiagro, especialmente Luis Gustavo, Letícia, Karen que ajudaram na realização do experimento e principalmente ao Diogo por toda a ajuda, companheirismo e amizade, pelas imprescindíveis colaborações durante o Doutorado Sanduíche e na fase experimental do doutorado. E a todos os amigos e familiares que de

alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e todos os seus funcionários. Aos laboratórios do DEA, em nome da Professora Cecília e Professor Alisson. Ao Sr. Simão pela ajuda no laboratório. Ao Ambiagro que se tornou minhas segunda casa nesses últimos 10 anos em que estive envolvida na pesquisa. Ao Sérgio por toda a ajuda e disponibilidade no Ambiagro.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realização do Doutorado.

À Universidade de Évora pela oportunidade de realização do Doutorado Sanduíche, bem como a todos os professores, funcionários, estudantes e amigos que fiz e que tive o prazer de conhecer, conviver e manter para a vida. Agradeço especialmente em nome da Professora Fátima Baptista e Professor Vasco Fitas.

À indústria PifPaf Alimentos pela oportunidade e apoio. Especialmente em nome do Dr. Jairo e Felipe, aos técnicos: Emiliano, Dair, Giovane e Fernando, e também aos integrados da região da Zona da Mata de Minas Gerais. Todos que nos receberam tão bem em suas propriedades e contribuíram com a realização dessa pesquisa.

Aos órgãos de fomento: Capes, Fapemig e CNPq, pela concessão de bolsas de estudo e auxílios às pesquisas.

## **BIOGRAFIA**

FERNANDA CAMPOS DE SOUSA, filha de José Luiz Campos de Sousa e Malvina Silva de Jesus Sousa, nasceu no dia 06 de março de 1985, em Barroso, Minas Gerais, Brasil.

Em março de 2007, ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em novembro de 2012. Em março de 2008 iniciou estágio no AMBIAGRO (Núcleo de Pesquisa em Ambiente e Engenharia de Sistemas Agroindustriais), sendo bolsista de Iniciação Científica PIBIC – CNPq por três anos consecutivos, de julho de 2009 a julho de 2012.

Em novembro de 2012, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, concentrando os seus estudos na área de Construções Rurais e Ambiente, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2014.

Em março de 2014, iniciou o curso de Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Construções Rurais e Ambiente. Realizou Doutorado Sanduíche junto à Universidade de Évora, em Évora, Portugal, entre julho de 2015 e junho de 2016. Submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2018.

## RESUMO

SOUSA, Fernanda Campos de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Potencial de geração e emissão de amônia pela avicultura de corte do Brasil.** Orientadora: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Coorientadores: Fátima de Jesus Folgôa Baptista, Cecília de Fátima Souza Ferreira, Fernando da Costa Baêta, Matteo Barbari e Jairo Alexander Osório Saraz.

Diante da importância da avicultura brasileira no cenário de produção de alimentos no mundo e devido a carência de estudos e metodologias aplicáveis as instalações localizadas em países de clima quente, essa tese foi desenvolvida com objetivo de contribuir com os estudos sobre concentrações, emissões e potenciais de geração e emissão de amônia em condições de clima quente. Nos artigos de revisão de literatura foram tratados diversos aspectos relacionados a amônia nas instalações de frangos de corte em regiões de clima quente. No primeiro artigo foram apresentadas as principais fontes de geração de amônia numa instalação de produção animal, os principais danos causados pela emissão de gases na avicultura de corte e os prejuízos econômicos gerados. A relação custo-benefício do controle da amônia é favorável, principalmente quando são contabilizados a perda de peso e o aumento da eficiência alimentar. No segundo artigo foram apresentados os métodos que podem ser utilizados nas instalações de produção animal localizadas em países de clima quente para determinar a concentração e a emissão de amônia. Apesar da grande diversidade de métodos, a maioria deles apresenta custo elevado ou envolve uma série de etapas em laboratório que podem contaminar a amostra e inviabilizar a análise. Contudo, a maior dificuldade nos países de clima quente está na determinação da emissão de amônia nas instalações abertas, o que compromete a determinação da taxa de ventilação e impede a utilização de vários métodos disponíveis e utilizados no mundo. No terceiro artigo são apresentadas as medidas mais utilizadas para controlar os elevados teores de amônia presentes nos aviários. A adoção de técnicas adequadas de manejo do ambiente, por meio de ventilação adequada e correto manejo da cama, pelo controle de pH, temperatura e umidade são possíveis reduções significativas nas emissões de amônia. A utilização de aditivos e o controle do adequado do teor de nitrogênio que é fornecido nas rações para os animais podem contribuir para melhorar a qualidade da cama e diminuir a volatilização de amônia. No quarto artigo foi realizado um zoneamento produtivo e climático da avicultura de corte do Brasil, através da geração de mapas da

localização da produção de frangos de corte e das temperaturas médias, máximas e mínimas ao longo de toda a extensão do país. E também foram determinados os valores extremos de temperatura que ocorrem no Brasil. No quinto artigo foi realizado um diagnóstico da qualidade do ar nas instalações de produção de frangos de corte típicas dos países de clima quente. Onde foi avaliada a qualidade do ar de trinta instalações com diferentes tipos de cama aviária em diferentes ciclos de utilização. Foi possível concluir que as instalações com cama de casca de café tenderam a apresentar pior qualidade do ar quando comparada as instalações com cama de maravalha e que para ambos os tipos de cama, maravalha e casca de café, as concentrações de amônia aumentam em função do ciclo de utilização da cama. No sexto artigo foram avaliadas as características físico-químicas das camas de maravalha e casca de café pela determinação do teor de umidade, pH, nitrogênio amoniacal e total. Foram desenvolvidos modelos para descrever o comportamento das variáveis em função do número de ciclos de utilização das camas submetidas a diferentes temperaturas do ar. No sétimo artigo foram determinados e avaliados modelos de predição do potencial de geração e emissão de amônia as camas de maravalha e casca de café, com diferentes ciclos de utilização submetidas a diferentes temperaturas do ar.

## ABSTRACT

SOUSA, Fernanda Campos de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Potential of the generation and emission of ammonia by Brazil's broilers production.** Advisor: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Co-advisors: Fátima de Jesus Folgôa Baptista, Cecília de Fátima Souza Ferreira, Fernando da Costa Baêta, Matteo Barbari and Jairo Alexander Osório Saraz.

Given the importance of Brazilian poultry in food production scenario in the world and due to lack of relevant studies and methodologies facilities located in hot climate countries this thesis has been developed with the aim of contribute to the studies of concentrations, emissions and potential generation and emission of ammonia in hot weather conditions. In the literature review papers, several aspects related to ammonia were treated in the facilities of broilers in hot climate regions. In the first article we were presented the main sources of generation of ammonia in an animal production facility, the main damage caused by the emission of gases in poultry production and economic losses generated. The cost-benefit ratio of control of ammonia is favorable, particularly when they are accounted for weight loss and increased feed efficiency. In the second paper were presented methods that can be used in animal production facilities located in hot climate countries to determine the concentration and the emission of ammonia. Despite the great diversity of methods, most of them have a high cost or involve a series of steps in the laboratory that can contaminate the sample and render the analysis unfeasible. However, the greatest difficulty in hot climate countries are in determining the emission of ammonia in open facilities, which compromises the determination of ventilation rate and prevents the use of various methods available and used in the world. The third paper presents the most used measures to control the high levels of ammonia present in the facilities. The adoption of appropriate environmental management techniques, through proper ventilation and correct bed management, pH, temperature and humidity control are possible significant reductions in ammonia emissions. The use of additives and the appropriate control of the nitrogen content that is provided in feed for animals can help to improve the quality of the bed and reduce ammonia volatilization. In the fourth paper, a productive and climatic zoning of Brazilian poultry breeding was carried out, through the generation of maps of the location of broiler production and the average, maximum and minimum temperatures throughout the country. And the extreme temperature values that occurred in Brazil

were also determined. In the fifth paper a diagnosis of air quality was carried out in the broiler production facilities typical of hot climate countries. Where air quality than thirty facilities with different types of poultry manure in different reuse cycles was evaluated. It was concluded that the facilities with coffee husk bed tended to have worse air quality compared the facilities with wood shavings bedding and for both types of bed the concentrations of ammonia increase with the reuse cycle. In the sixth article the physico-chemical characteristics of the shaving beds and coffee husks were evaluated by determination the moisture content, pH, ammoniacal and total nitrogen. Models were developed to describe the behavior of the variables in function of the number of reuse cycles of the beds submitted to different air temperatures. In the seventh article were determined and evaluated models of prediction of the potential of ammonia generation and emission the beds of shavings and coffee husks, with different reuse cycles submitted to different air temperatures.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	01
REFERÊNCIAS .....	12
ARTIGO I .....	18
GAS EMISSION IN THE POULTRY PRODUCTION .....	18
ARTIGO II .....	34
QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA EM INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM CLIMA QUENTE .....	34
ARTIGO III .....	54
MEDIDAS PARA MINIMIZAR A EMISSÃO DE AMÔNIA NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE: REVISÃO .....	54
ARTIGO IV .....	75
ZONEAMENTO PRODUTIVO E CLIMÁTICO DA AVICULTURA DE CORTE DO BRASIL .....	75
ARTIGO V .....	93
DIAGNOSIS OF AIR QUALITY IN BROILERS PRODUCTION FACILITIES IN HOT CLIMATES .....	93
ARTIGO VI .....	103
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CAMAS AVIÁRIAS DE MARAVALHA E CASCA DE CAFÉ SUBMETIDAS A DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR .....	103
ARTIGO VII .....	126
POTENCIAL DE GERAÇÃO E EMISSÃO DE AMÔNIA DE CAMAS AVIÁRIAS DE MARAVALHA E CASCA DE CAFÉ .....	126
CONCLUSÕES GERAIS .....	145

## INTRODUÇÃO GERAL

A produção de frangos de corte brasileira possui relevância mundial para garantir alimentação, e principalmente acesso à proteína de origem animal de baixo custo, a uma população mundial cada vez mais crescente. Há mais de uma década a avicultura de corte brasileira ocupa posições de destaque mundial tanto em produção quanto em exportação. Com um plantel com mais de um bilhão de cabeças de frangos de corte (IBGE, 2015) produzindo mais de 13,14 milhões de toneladas de carne de frango, o Brasil exporta para mais de 150 países, segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2016).

Entretanto, esse incremento cada vez maior em produção de frangos de corte aliado a sistemas cada vez mais intensivos promove simultaneamente aumento na produção de dejetos do setor avícola. Ainda no interior das instalações de produção animal ocorrem processos fermentativos dos dejetos depositados nas camas aviárias e nesses processos são liberados gases considerados poluentes atmosféricos. As emissões desses poluentes gasosos, como a amônia, que é o principal poluente das instalações avícolas, por ser encontrada nas maiores concentrações nas instalações (OWADA et al., 2007), é uma questão ambiental mundial.

Nos países da Europa e América do Norte já existem inventários com protocolos que tratam de todas as suas formas de emissão de amônia. Porém suas metodologias foram desenvolvidas para instalações fechadas, típicas desses países, e, portanto, não se aplicam as condições de produção do Brasil, que por ser um país de clima quente, possui instalações que permanecem predominantemente abertas (TINÔCO, 2001).

Por isso existe ainda uma carência de estudos e metodologias que tratem das emissões da amônia aplicáveis às instalações localizadas nos países de clima quente, que considerem as especificidades de condições climáticas, sistemas de criação e técnicas de manejo típicas das que são utilizadas nessas instalações. Esses estudos são necessários e importantes pois é justamente nesses locais onde ocorre efetivamente a maior produção de frangos de corte no mundo. Assim, essa tese foi desenvolvida com objetivo de contribuir os estudos sobre concentrações, emissões e potenciais de geração e emissão de amônia em condições de clima quente, considerando os principais sistemas de criação com as condições climáticas médias e extremas de temperatura do ar aliadas a diferentes tipos de cama com diferentes ciclos de utilização.

Para compor essa tese foram desenvolvidos sete artigos. Os primeiros três artigos foram compostos por artigos de revisão de literatura, abordando aspectos ligados à presença da amônia nas instalações de produção de frangos de corte típicas de países de clima quente. E quatro últimos compostos por artigos científicos que tratam de levantamentos relacionados à produção de frangos de corte e as temperaturas do ar no Brasil, da situação da qualidade do ar nas instalações de produção de frangos de corte e também das características físico-químicas e dos potenciais de geração e emissão de amônia de camas aviárias submetidas a diferentes condições climáticas da avicultura de corte brasileira.

O primeiro artigo de revisão de literatura intitulado: “*GAS EMISSION IN THE POULTRY PRODUCTION*” faz uma abordagem sobre as principais fontes de geração de amônia numa instalação de produção animal, os principais danos causados pela emissão de gases na avicultura de corte e os prejuízos econômicos gerados. Concluiu-se nesse artigo que a relação custo-benefício do controle da amônia é favorável, principalmente quando são contabilizados a perda de peso e o aumento da eficiência alimentar.

O segundo artigo, intitulado: “*QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA EM INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM CLIMA QUENTE*” trata de uma revisão de literatura sobre a gama de métodos que podem ser utilizados nas instalações de produção animal localizadas em países de clima quente para determinar a concentração e a emissão de amônia. Apesar da grande diversidade de métodos existentes para quantificar as concentrações de amônia, a maioria dos métodos apresenta custo elevado ou envolve uma série de etapas em laboratório que podem contaminar a amostra e inviabilizar a análise. Assim, ainda são necessários estudos de comparação, adaptação e aplicação de métodos para quantificar a amônia. Contudo, a maior dificuldade nos países de clima quente está na determinação da emissão de amônia nas instalações abertas, por não ser possível um controle eficiente das entradas e saídas de ar, o que dificulta a determinação da taxa de ventilação e impede a utilização de vários métodos disponíveis e utilizados no mundo.

O terceiro artigo de revisão intitulado: “*MEDIDAS PARA MINIMIZAR A EMISSÃO DE AMÔNIA NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE: REVISÃO*” trata das medidas mais utilizadas para controlar os elevados teores de amônia presentes nos aviários. Com a adoção de técnicas adequadas de manejo do ambiente, por meio de ventilação adequada e correto manejo da cama, pelo controle de pH, temperatura e umidade são possíveis reduções significativas nas emissões de amônia. Assim como a

utilização de aditivos e o controle do adequado do teor de nitrogênio que é fornecido nas rações como alimento para os animais podem contribuir para melhorar a qualidade da cama e diminuir a volatilização de amônia.

O quarto artigo é um artigo científico intitulado: “*ZONEAMENTO PRODUTIVO E CLIMÁTICO DA AVICULTURA DE CORTE DO BRASIL*” onde foi realizado o levantamento espacial e produtivo (zoneamento) de todos os núcleos com produção de frangos de corte registrados no país. A partir dos dados levantados foram gerados mapas que possibilitaram a localização da produção de frangos de corte ao longo de toda a extensão do país, além de mapas que destacaram as principais regiões produtoras de frangos de corte, sendo respectivamente, Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil. Foram levantados os perfis de temperatura do ar observados nos últimos 30 anos no Brasil e a partir deles foram gerados mapas das temperaturas médias, máximas e mínimas de todo o país. A partir desses mapas, as principais regiões produtoras de frangos de corte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, foram classificadas de acordo com suas condições climáticas de temperatura e foram determinados os extremos de temperatura que ocorrem no país. Por apresentar valores de temperatura mais elevados a região Centro-Oeste foi classificada como região avícola de elevadas temperaturas, a região Sul, por apresentar os menores valores de temperatura, foi classificada como região avícola de baixas temperaturas e a região Sudeste foi classificada como região avícola de temperaturas médias.

No quinto artigo científico intitulado: “*DIAGNOSIS OF AIR QUALITY IN BROILERS PRODUCTION FACILITIES IN HOT CLIMATES*” foi realizado um diagnóstico da qualidade do ar nas instalações de produção de frangos de corte que permanecem predominantemente abertas e adotam ventilação por pressão positiva, típicas dos países de clima quente. Foram avaliados um total de trinta instalações com produção de frangos de corte com diferentes tipos de cama aviária em diferentes ciclos de utilização. Nessas instalações foram coletados dados relacionados a qualidade do ar, em termos de temperatura, umidade relativa do ar e concentrações de dióxido de carbono e amônia durante a última semana de criação dos animais. Concluiu-se que as instalações com cama de casca de café tenderam a apresentar pior qualidade do ar quando comparada as instalações com cama de maravalha e que para ambos os tipos de cama, maravalha e casca de café, as concentrações de amônia aumentam em função do ciclo de utilização da cama.

No sexto artigo científico intitulado: “*CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CAMAS AVIÁRIAS DE MARAVALHA E CASCA DE CAFÉ SUBMETIDAS A*

*DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR*” foram avaliadas as condições físico-químicas de camas aviárias de maravalha e casca de café, em diferentes ciclos de utilização sob diferentes temperaturas do ar, típicos da avicultura de corte brasileira. As características físico-químicas das camas foram avaliadas por meio da determinação do teor de umidade, pH, nitrogênio amoniacal e total.

No sétimo artigo científico intitulado: “*POTENCIAL DE GERAÇÃO E EMISSÃO DE AMÔNIA DE CAMAS AVIÁRIAS DE MARAVALHA E CASCA DE CAFÉ*” foi desenvolvido para determinar e avaliar o potencial de geração e emissão de amônia de camas aviárias de maravalha e casca de café, em diferentes ciclos de utilização, submetidas a diferentes temperaturas do ar, típicos da avicultura de corte brasileira. Foram determinados os fluxos de emissão de amônia e desenvolvidos modelos de predição do potencial de geração e emissão de amônia para camas de maravalha e casca de café nos diferentes ciclos de utilização submetidas a diferentes temperaturas do ar, ou seja, sob condições de alojamento comuns em instalações de produção de frangos de corte localizadas em regiões de clima quente.

## REFERÊNCIAS

ABPA. Relatório Anual 2016. **Relatório Anual**, p. 136, 2016.

GATES, R.S.; CASEY, K.D.; WHEELER, E.F.; XIN, H.; PESCATORE, A.J. U.S. broiler housing ammonia emissions inventory. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 14, p. 3342–3350, 2008.

IBGE. Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária - Junho 2015. **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE**, p. 47, 2015.

MENDES, L.B.; TINOCO, I.F.F.; OGINK, N.W.M.; ROCHA, K.S.O.; SARAZ, J.A.O.; SANTOS, M.S. Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1179–1185, 2014.

MIRAGLIOTTA, M. Y.; NÃÃS, I.A.; MURAYAMA, M.C.; MOURA, D.J. Software para estimativa de emissão de amônia. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 6, n. 2, p. 79–89, 2004.

OSORIO-SARAZ, J.A.; FERREIRA-TINOCO, I.F.; GATES, R.S.; OLIVEIRA-ROCHA, K.S.; COMBATT-CABALLERO, E.M.; CAMPOS-DE-SOUSA, F. Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. **DYNA**, v. 81, n. 187, p. 137–143, 2014.

OWADA, A. N.; NÃÃS, I.A.; MOURA, D.J.; BARACHO, M.S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, 2007.

PEDERSEN, S.; BLANES-VIDAL, V.; JOERGENSEN, H.; CHWALIBOG, A.; HAEUSSERMANN, A.; HEETKAMP, M.J.W.; AARNINK, A.J.A. Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature review. **Agricultural Engineering International: CIGR**, v. X, n. 8, p. 1–19, 2008.

TINÔCO, I. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3, n. 1, p. 1–24, 2001.

ZHANG, G.; STRØM, J. S.; LI, B.; ROM, H. B.; MORSING, S.; DAHL, P. Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. **Biosystems Engineering**, v. 92, p. 355–364, 2005.

## ARTIGO I

### GAS EMISSION IN THE POULTRY PRODUCTION

Artigo *publicado* na “Journal of Animal Behaviour and Biometeorology”  
v. 5 (2): 49-55, 2017. ISSN 2318-1265

## **GAS EMISSION IN THE POULTRY PRODUCTION**

Fernanda Campos de Sousa (Corresponding author) ▪ IFF Tinoco ▪ JN Silva ▪ F Baptista  
▪ CF Souza ▪ AL Silva  
Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brazil.  
e-mail: fernanda.sousa@ufv.br

Received: August 22, 2016 ▪ Revised: December 10, 2016 ▪ Accepted: December 14, 2016

**Abstract:** Among the greenhouse gases produced in broiler chicken production environments, ammonia stands out for being present in higher concentrations and for significantly affecting human and animal health. Thus, this review evaluates the various sources of ammonia generation in animal production facilities, the damages caused by ammonia emissions in broiler chicken production facilities, and the accompanying economic losses. The main source of ammonia in broiler production is the nitrogen ingested in the diet, which is broken down into uric acid and, eventually, into ammonia that is volatilized from the bed to the environment. High ammonia concentrations in such facilities can affect productivity and result in economic losses. The effects on the environment are eutrophication of water bodies and ground water contamination. Ammonia emission control in poultry production facilities is therefore inevitable to avoid economic losses, prevent environmental damage, and increase feed efficiency.

**Keywords:** air quality, ammonia emission, broilers

### **Introduction**

Intensive animal production in confinement, in particular in the case of poultry farming with the use of reused avian beds, is responsible for the emission of a significant amount of air pollutants. The most commonly emitted gases are carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and ammonia (NH<sub>3</sub>), with NH<sub>3</sub> being the main gas which negatively affects birds and workers (Angus et al., 2006) and is generally found in high concentrations in poultry farms (Owada et al 2007).

For more than a decade, the impacts of NH<sub>3</sub> emissions on the environment have been the focus of research studies in several European countries and in North America (Faulkner and Shaw 2008; Mosquera et al 2005; Scholtens et al., 2004), where gas inventories have already been carried out and protocols to reduce ammonia emissions have been established. In these countries, studies evaluating pollutant emissions from

animal production facilities can generally be performed relatively easily, since most of the facilities are closed and, therefore, control the volume of air in the coats (Osorio-Saraz et al 2014).

For regions with tropical and subtropical climates, such as Brazil, the determination of pollutant emissions from animal production is much more complex (Mendes et al 2014). This is mainly due to the fact that almost all animal production facilities in Brazil, as well as in other countries with a hot climate, are kept open for most of the time (Tinôco 2001), thus constituting open thermodynamic systems influenced by wind currents and other non-controllable external factors, making it difficult to quantify emission levels (Saraz et al 2013).

For countries with hot climates, there are only a few studies on atmospheric pollutant emissions from food production; most of these studies have focused on animal farming in intensive breeding systems, as the amount of waste produced has become a serious issue in this industry. In this review, we have focused on ammonia emissions in animal production in order to evaluate the issues of high emissions in poultry production systems under tropical and subtropical climates. Such a review can also raise awareness of this problem and contribute to maintain environmental quality standards associated with the production of low-cost food, such as chicken, with the aim to increase food production sustainability.

For this, we searched the literature aiming to review the main sources of ammonia in animal production facilities, main damages caused by the emission of particulate pollutants in the poultry industry, specifically ammonia, and the resulting economic losses.

#### Main sources of ammonia emissions

Agricultural activities, especially those that require confinement and therefore occur in agricultural facilities, generate waste accumulation and are therefore the main sources of ammonia (NH<sub>3</sub>) emissions into the atmosphere. In the United States and Canada, agriculture accounts for 75% of ammonia emissions, with most of these emissions being generated by animal production (Bittman and Mikkelsen 2009; Fabbri et al 2007).

The production of broilers is among the main animal feedlot systems, especially in the Brazilian poultry industry, which is one of the largest producers of chicken meat in the world (Marangoni et al 2015). Feedlot systems are a cost-efficient form of animal production and characterized by relatively small production cycles, high technological

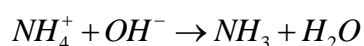
levels, small production space, and the demand for fewer resources such as water and energy (Mendes et al 2015).

Since broiler chicken performance depends on the quality of the feed offered and rations with considerable energy and protein content are usually administered, the amount of nitrogen that meets the nutritional demands of the animals (Gay and Knowlton 2009) also makes the poultry feed the main source of nitrogen in the poultry waste (Mendes et al 2015).

Such considerable waste generation, coupled with a significant ammonia emission potential, can negatively affect the air quality in the facilities and surroundings of the animal production facility. Waste in the avian bed causes gas production inside the facility and is considered the main source of gas emissions (Nääs et al 2007), mainly because almost half of the amount of the nitrogen in the feed is retained as animal protein, the rest is excreted as waste (Pessôa et al 2012; Silva et al 2006). Of this, 35% has potential for emission by being converted to ammoniacal nitrogen, given the ammonia emission factor of waste excreted by birds (Misselbrook et al 2000).

When ingested by animals, the amino acids, in the form of proteins, are adsorbed and are either converted into other amino acids or degraded to release energy. As poultry diets usually contain high amounts of protein, some of these proteins are still excreted in the undigested form, i.e., nitrogen that is not metabolized as protein is excreted directly and part of what has been digested results in release of uric acid; through microbial degradation, ammonia is released into the atmosphere (Gay and Knowlton 2009; Pessôa et al 2012).

Animals excrete nitrogen in the form of uric acid, urea and ammonia, and birds mainly excrete uric acid (Bittman and Mikkelsen 2009) which, when degraded, releases ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), a dominant form of nitrogen in poultry waste. Under certain conditions, such as high moisture levels and increased pH values, ammonium is rapidly converted into ammonia ( $\text{NH}_3$ ), an extremely volatile substance that negatively affects the quality of air inside the aviary (França et al 2014; Gay and Knowlton 2009; Oviedo-Rondón 2008). As mentioned before, ammonia volatilization is more common under alkaline conditions, with pH values around 9, coupled with high temperatures and increased ammonia concentrations in the waste (Bittman and Mikkelsen 2009). The degradation process of uric acid occurs according to Reaction 1:



Reaction 1

In summary, ammonia in broiler production environments is formed through chemical and microbial decomposition of uric acid excreted by birds. The decomposition process is carried out by urease, an enzyme produced by microorganisms, which catalyzes the hydrolysis of urea into ammonia and carbon dioxide in aqueous medium, allowing ammonia volatilization, defined as nitrogen losses to the atmosphere (Oliveira et al 2003). The decomposition of urea occurs according to Reaction 2:



Five enzymatic steps are involved in the aerobic degradation of uric acid (Figure 1). First, uric acid ( $C_5H_4N_4O_3$ ), the dominant form of nitrogen in the excreta, is converted into allantoin ( $C_4H_6N_4O_3$ ) by the enzyme uricase. In the second step, allantoin is converted to allantoic acid by allantoinase. Subsequently, allantoic acid is converted to ureidoglycolate by allantoate amidohydrolase, and ureidoglycolate is then converted to glyoxylate and urea by ureidoglycolase. The last step consists of the hydrolysis of urea ( $(NH_2)_2CO$ ) into ammonia ( $NH_3$ ) and  $CO_2$  by the enzyme urease (Groot Koerkamp et al 1998).

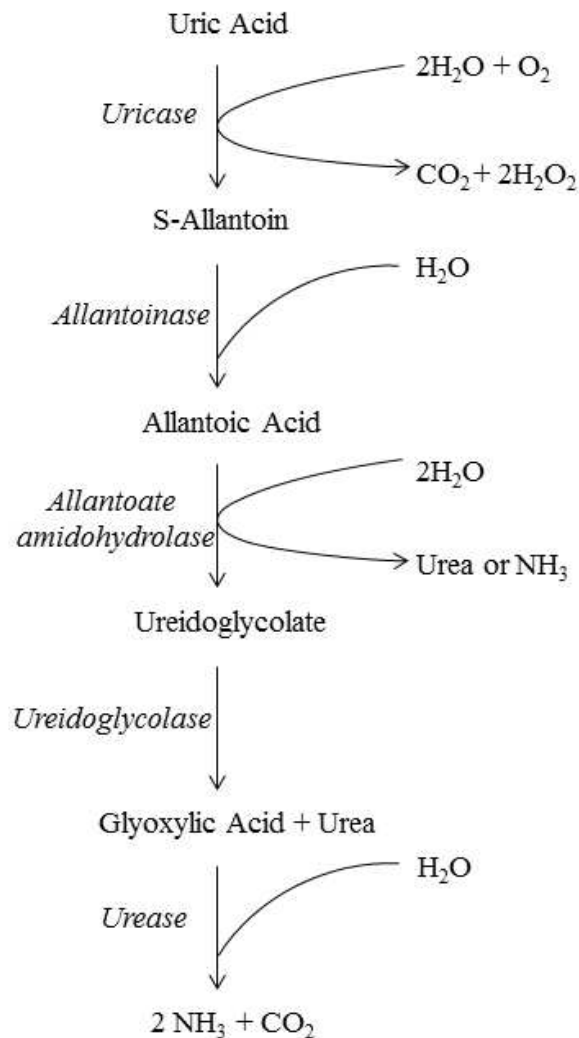


Figure 1. Stages of aerobic degradation of uric acid in ammonia. Adapted from Groot Koerkamp et al (1998).

#### Effects and diseases caused by air pollutants

Reductions in particulate emissions from animal production facilities are of major importance because of their negative effects on animals and humans. There are associations between the particulate matter content in the air and respiratory and cardiovascular effects, even at relatively low levels. The size of the particle influences its deposit form in the respiratory tract; larger particles are usually filtered in the nose and throat, causing no serious problems, whereas smaller particles can reach the lungs and cause considerable health problems (Melse et al 2009).

The harmful effects of ammonia usually tend to be underestimated by producers, since human olfaction can easily detect concentrations above 5 ppm in the environment (Ritz et al 2005). However, when exposure occurs for prolonged periods, this sensitivity is lost and can promote damages that are not perceived or identified in time (Egute et al

2010). High levels of ammonia in the environment negatively impact both the health and production of animals and workers (Gay and Knowlton 2009).

There are, basically, four risks arising from the production of pollutants in animal production environments: worker health, animal health, neighbor health, and deterioration of the facility and equipment (Nääs et al 2007). High concentrations of ammonia in broiler production facilities negatively influence the breeding environment, affecting animals and caretakers as well as locations close to these facilities (Medeiros et al 2005). In addition, ammonia is a highly corrosive compound that contributes to the deterioration of metal equipment and parts.

Small particles, PM<sub>2.5</sub>, formed in the air by ammonia and other components, pose a health problem due to the impacts on the respiratory system. When inhaled, they can reach the lungs, and even short-term exposure can cause eye, nose, and throat irritation, in addition to coughing and sneezing. Long-term exposure can lead to a variety of respiratory and cardiovascular issues (Bittman and Mikkelsen 2009).

International standards for maximum ammonia concentration limits suggest that the concentration varies according to the period of exposure to the environment affected by ammonia; maximum limits are 25 ppm for 8 hours, 35 ppm for 15 min, and 50 ppm for 5 min (NIOSH 1988). The Brazilian legislation through the Ministry of Labor and Employment, according to Regulatory Norm NR-15 (ABNT 1978), established the maximum limit of 20 ppm of ammonia in work environments for a period of up to 48 hours per week. In the literature, 20 ppm of ammonia are recommended as the maximum tolerable value for continuous exposure in an animal production environment (Wathes et al 1997).

The harmful effect on the health of animals and workers exposed to ammonia depends on both the concentration and the exposure period. Typically, people working in poultry production facilities tend to have a high incidence of various acute and chronic symptoms, including coughing, eye irritation, fatigue, nasal congestion, sneezing, headache, throat irritation, and fever (Donham 2000; Perry 2003).

Elevated levels of NH<sub>3</sub> in the premises can generate production losses by reducing feed efficiency and growth rates; excessive occurrence of certain particles can cause stress, affecting the immune system and generating vulnerability to diseases, thereby decreasing the productive performance of animals and workers (Osório et al 2009).

Ideally, ammonia levels are kept below a concentration of 25 ppm. Although the maximum acceptable limit of ammonia concentration is 20 ppm, but a maximum level of 10 ppm should always be the objective (Groot Koerkamp et al 1998).

Exposure to ammonia impairs weight gain (Equation 1), feed efficiency or conversion (Equation 2), and viability (Equation 3) in the production of broilers, as it affects the average weight and feed intake and, for several reasons, can cause the death of the birds before the end of the productive cycle. In facilities with ammonia levels of 25 ppm during the entire growth period, a significant reduction of the final body weight was observed in the broilers produced, with an average total weight loss of 90 g per bird (Lott and Donald 2005; Miles et al 2004).

$$\text{Weight gain} = \text{Final body weight (kg)} - \text{Initial body weight (kg)} \quad \text{Equation 1}$$

$$\text{Feed efficiency} = \frac{\text{Feed intake (kg)}}{\text{Total of broilers produced (kg)}} \quad \text{Equation 2}$$

$$\text{Viability} = \text{percentage of live broilers at the end of cycle} \quad \text{Equation 3}$$

Continuous exposure to an ammonia-saturated environment, even at low levels, causes irritation of the respiratory mucosa of birds, increasing susceptibility to respiratory diseases. In humans, continuous exposure even to low ammonia levels can cause eye and lung irritations (Gay and Knowlton 2009). High levels of NH<sub>3</sub> in the premises can result in production losses by reducing feed efficiency and growth rates (Oliveira et al 2003).

Excess ammonia in the environment can also cause various disorders and problems in animals, such as reduced appetite and respiratory rates, burns and calluses on the cushions of the feet, skin irritations, calluses in the chest, eye irritation, conjunctivitis, blindness, respiratory system issues, weight loss, low uniformity, and susceptibility to viral diseases and infections, thereby significantly decreasing productivity (Osório et al 2009).

Signs of lesions from ammonia intoxication vary according to the age of the bird, the degree of exposure, and the concentration of the gas. Prolonged exposure to high concentrations of ammonia, such as 50 to 100 ppm, decreases production due to the incidence of increased lacrimal secretion, catarrhal tracheitis, keratoconjunctivitis, and photophobia, which may result in more serious problems such as blindness (Egute et al 2010).

Ammonia emitted in concentrations higher than 60 ppm within animal production facilities leaves birds more susceptible to respiratory diseases, predisposing them to risks of infections secondary to vaccinations (Oliveira et al 2004; Rocha et al 2014). In extreme cases, when concentrations reach 100 ppm, immediate reduction of the respiratory rate can be the result, which leads to death even under short-term exposure (Groot Koerkamp et al 1998).

Table 1 shows the relationship between ammonia concentrations and the main effects on humans and animals.

Table1. Different ammonia concentrations and the impacts on human and animal health

Concentration (ppm)	Humans	Animals
5	Presence of ammonia can be detected by some people by the odor	
10	Most people can easily detect the presence of ammonia by odor	
20	Environmentally unhealthy environment (NR-15)	Initial discomfort
20-25		Maximum tolerable amount for birds at long-term exposure
30	Respiratory system issues, including coughing, salivary secretion, phlegm presence, and even urine retention	
35-40		Maximum tolerable amount for birds at short-term exposure
50	Acute eye irritation	Acute eye irritation
80		Reduced food consumption and growth
100	Eye burns, temporary blindness, and skin irritation may occur	Drastic reduction of respiratory rate, consumption, growth
500	Violent attack of cough, severe irritation in the lungs, pulmonary edema, can lead to death	Lethal dose

Source: Adapted from Perry (2003).

#### Economic losses generated by the emission of pollutants

Exposure to ammonia, pollutants, and aerial microorganisms significantly affects the growth of broilers, favors susceptibility to disease, reduces food consumption, alters feed conversion and growth rate, and increases mortality. Gas emissions in the production of broilers negatively influence the production environment and the surrounding region, causing considerable economic and financial losses

(Medeiros et al 2008). High ammonia emissions can lead to weight losses of up to 250 grams per bird by current weight standards, with continuous exposure at 25 ppm levels, indicating losses of 90 grams per bird, and increased condemnation of carcasses to 500 birds per productive lot (Lott and Donald 2005).

Even when exposure only occurs in the first weeks of breeding, the birds show significant weight reductions at the end of the production cycle (Miles et al 2004).

In terms of financial losses resulting from high levels of ammonia in a shed with 20,000 birds with an ammonia concentration of 50 ppm, losses amount to around US\$ 450.00 relative to weight losses of birds, about US\$ 700.00 relative to the ration, because the increase of 8% in feed conversion, an average of US\$ 160 with diseases and US\$ 150 with condemnation of carcasses (Lott and Donald 2005; Ritz et al 2005). In a previous study about broiler production environments, ammonia reductions of 10% resulted in a final weight increase (at 42 days) of more than 45 grams (Miles et al 2004). Adequate management practices and efficient control of ammonia emissions may represent significant differences between profit and loss for producers; the cost-benefit ratio of ammonia control is favorable when weight loss and increased feed efficiency are accounted for (Lott and Donald 2005; Ritz et al 2005).

#### Gas emissions and environmental damage

In addition to ammonia, animal production facilities also emit a number of potent greenhouse gases (GEEs), mainly carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) (Fabbri et al 2007). Nitrous oxide is produced in the processes of nitrification and denitrification of the waste, and degrades the ozone layer in the stratosphere, contributing to global warming (Calvet et al 2011). Their global warming potentials were set by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006) as 20 (CH<sub>4</sub>) and 300 (N<sub>2</sub>O) times the potential of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). Significant increases in atmospheric ammonia emissions in intensive animal production areas have been reported in recent years (Gay and Knowlton 2009). It is estimated that agriculture is responsible for 85% of the volatilization of ammonia in the United States; of this, an estimated 30% were emitted by broiler production facilities in the year 2015 (EPA 2004).

Ammonia emissions from animal production are not restricted to the production facility and significantly impact the environment, mainly by acidification and eutrophication of water bodies (Gates et al 2008). In addition, groundwater contamination can occur when chicken litter is used excessively as fertilizer and the

contained nitrates leach into the soil. Nitrates are mobile when soluble in water and can therefore be rapidly transported through the soil, reaching the ground water and contaminating drinking water supplies (Bittman and Mikkelsen 2009; Oviedo-Rondón 2008).

This review emphasizes the need of significantly reducing NH<sub>3</sub> levels in animal production facilities as a crucial step to maintain both the health of workers and animals in these environments, in addition to avoid potential environmental degradation (Kim and Patterson 2003).

### Final Considerations

Ammonia as well as other polluting gases produced in broiler breeding environments, even in countries located in warm-weather regions where facilities are predominantly open, potentially damage human and animal health, thereby affecting productivity and resulting in economic losses. In addition, negative impacts on the environment are inevitable.

The efficient control of ammonia emissions through adequate management practices can represent a significant difference between profit and loss for producers, since the cost-benefit ratio of ammonia control is favorable when losses are accounted for increases in food efficiency, in addition to promoting the production of sustainable food, both in terms of preservation of the environment as well as the sustainability of low-cost food production.

### Acknowledgements

The authors are grateful to the follows Brazilian foundations: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

### References

ABNT (1978) Associação Brasileira de Normas Técnicas. NR-15: Atividades e Operações Insalubres. Portaria Ministério do Trabalho, Brasília, 85 p.

Angus AJ, Hodge ID, Sutton MA (2006) Ammonia abatement strategies in livestock

production: A case study of a poultry installation. *Agricultural Systems*. doi:10.1016/j.agsy.2005.09.003

Bittman S, Mikkelsen R (2009) Ammonia Emissions from Agricultural Operations: Livestock. *Better Crops* 93: 28–31.

Calvet S, Cambra-López M, Estellés F et al (2011) Characterization of gas emissions from a Mediterranean broiler farm. *Poultry science*. doi:10.3382/ps.2010-01037

Donham K (2000) A historical overview of research on the hazards of dust in livestock buildings. In *Dust Control in Animal Production Facilities*, Proc. Congress in Aarhus, Denmark, 2000. Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Bygholm, 1: 13-21.

Egute NS, Abrao A, Carvalho FMS (2010) Estudo do processo da geração de amônia a partir de resíduos avícolas visando a produção de hidrogênio. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento* 12: 1–6.

EPA (2004) National emission inventory—ammonia emissions from animal husbandry operations (Draft Report). United States Environmental Protection Agency, n. January 30: D1–D16.

Fabbri C, Valli L, Guarino M et al (2007) Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. *Biosystems Engineering*. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.03.036

Faulkner WB, Shaw BW (2008) Review of ammonia emission factors for United States animal agriculture. *Atmospheric Environment*. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.04.021

França LGF, Tinoco IFF (2014) Caracterização de fatores que influenciam a emissão de amônia pelos dejetos de galinhas poedeiras e proposição de um score para o potencial máximo de emissão. In: *XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Proceedings...* Campo Grande: CONBEA 2014.

Gates RS, Casey KD, Wheeler EF et al (2008) U.S. broiler housing ammonia emissions inventory. *Atmospheric Environment*. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.06.057

Gay SW, Knowlton KF (2009) Ammonia emissions and animal agriculture Virginia Cooperative Extension. Virginia Cooperative Extension. Virginia State, Petesburg, 110: 442-445.

Groot Koerkamp PWG, Metz JHM, Uenk GH et al (1998) Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*. doi:10.1006/jaer.1998.0275

IPCC (2006) Emissions from livestock and manure management. In: IPCC Intergovernmental Panel On Climate (Ed.). *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Hayama, Kanagawa, Japan: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 4: 10.1-10.87.

Kim W, Patterson P (2003) Effect of minerals on activity of microbial uricase to reduce ammonia volatilization in poultry manure. *Poultry Science*. doi:10.1093/ps/82.2.223

Lott B, Donald J (2015) Amônia: Grandes perdas mesmo quando você não percebe. <http://www.aviculturaindustrial.com.br/> Accessed in: march, 23 of 2015.

Marangoni C, Cichoski AJ, Barin JS et al (2015) Efeito da incorporação de folhas de oliveira (*Olea europaea* L.) no desenvolvimento e qualidade da carne de frangos. *Brazilian Journal of Food Technology*. doi:10.1590/1981-6723.1515

Medeiros CM, Baêta FC, Oliveira RFM et al (2005) Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. doi:10.1590/S1415-43662005000400033

Medeiros R, Santos BJM, Freitas M et al (2008) A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. *Ciência Rural*. doi:10.1590/S0103-84782008000800035

Melse RW, Ogink NW, Rulkens M (2009) Overview of European and Netherlands'

regulations on airborne emissions from intensive livestock production with a focus on the application of air scrubbers. *Biosystems Engineering*. doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.07.009

Mendes LB, Tinoco IFF, Ogink NWM et al (2014) Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1179-1185

Mendes LB, Edouard N, Ogink NWM et al (2015) Spatial variability of mixing ratios of ammonia and tracer gases in a naturally ventilated dairy cow barn. *Biosystems Engineering*. doi:10.1016/j.biosystemseng.2014.11.011

Miles DM, Branton SL, Lott BD (2004) Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. *Poultry Science*. doi:10.1093/ps/83.10.1650

Misselbrook TH, Van Der WTJ, Pain BF et al (2000) Ammonia emission factors for UK agriculture. *Atmospheric Environment*. doi:10.1016/S1352-2310(99)00350-7

Mosquera J, Monteny GJ, Erisman JW (2005) Overview and assessment of techniques to measure ammonia emissions from animal houses: the case of the Netherlands. *Environmental Pollution*. doi:10.1016/j.envpol.2004.11.011

Nääs IA, Miragliotta MY, Baracho MS et al (2007) Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. *Engenharia Agrícola*. doi:10.1590/S0100-69162007000300001

NIOSH (1988) OSHA PEL Project Documentation: Ammonia National Institute for Occupational Safety and Health. Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta 1988: 1-3.

Oliveira MC, Almeida CV, Andrade DO et al (2003) Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. doi:10.1590/S1516-35982003000400022

Oliveira MC, Ferreira HA, Cancherini LC (2004) Efeito de condicionadores químicos sobre a qualidade da cama de frango. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. doi:10.1590/S0102-09352004000400016

Osório JA, Tinôco IFF, Ciro HJ (2009) Ammonia : A review of concentration and emission models in livestock structures. *Dyna* 76: 89–99.

Osorio-Saraz JA, Ferreira-Tinoco IF, Gates RS et al (2014) Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. *Dyna*. doi:10.15446/dyna.v81n187.40806

Oviedo-Rondón EO (2008) Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. doi:10.1590/S1516-35982008001300028

Owada NA, Nääs IA, Moura DJ et al (2007) Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. *Engenharia Agrícola*. doi:10.1590/S0100-69162007000400003

Perry GC (2003) Welfare of the Laying Hen. *World's Poultry Science Association* 27: 431.

Pessôa GBS, Tavernari FC, Vieira RV, Albino LFT (2012) Novos conceitos em nutrição de aves. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 13: 755–774.

Ritz CW, Fairchild BD, Lacy MP (2005) Litter Quality and Broiler Performance. Cooperative Extension Service/The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences 1267: 1-8.

Rocha TM, Andrade MA, Santana ES, Fayad AR, Matias TD (2014) Aspectos clínicos, patológicos e epidemiológicos de doenças imunossupressoras em aves. *Enciclopédia Biosfera* 10: 355–379.

Saraz JAO, Tinôco IFF, Gates RS, Paula MO, Mendes LB (2013) Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. *Dyna* 80: 51–60.

Scholtens R, Dore CJ, Jones BMR et al (2004) Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores - part 1: development and validation of external tracer ratio, internal tracer ratio and passive flux sampling methods. *Atmospheric Environment*. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.02.030

Silva YL, Rodrigues PB, Freitas RTF et al (2006) Redução de proteína e fósforo em rações com fitase para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade . Desempenho e teores de minerais na cama. *Revista Brasileira de Zootecnia*. doi:10.1590/S1516-35982006000300029

Tinôco IFF (2001) Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. doi:10.1590/S1516-635X2001000100001

Wathes CM, Holden MR, Sneath RW et al (1997) Concentrations and emissions rates of aerial ammonia, nitrous-oxide, carbon-dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *British Poultry Science*. doi:10.1080/00071669708417936

## ARTIGO II

### QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA EM INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM CLIMA QUENTE

*Artigo aceito para publicação* na “Revista em Agronegócio e Meio Ambiente”.  
ISSN 1981-9951

# QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA EM INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM CLIMA QUENTE

Fernanda C. Sousa<sup>1</sup>, Ilda F. F. Tinôco<sup>2</sup>, Fátima Baptista<sup>3</sup>, Cecília F. Souza<sup>4</sup>, Vasco F. Cruz<sup>5</sup> e Alex L. Silva<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, 36570-900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, fernanda.sousa@ufv.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, iftinoco@ufv.br

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Universidade de Évora, Évora, Portugal, fb@uevora.pt

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, cfsouza@ufv.br

<sup>5</sup> Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Universidade de Évora, Évora, Portugal, vfc@uevora.pt

<sup>6</sup> Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, alexlopes@zootecnista.com.br

**RESUMO:** A qualidade do ar é um dos fatores mais importantes na produção avícola, uma vez que os poluentes aéreos podem alterar as características ideais do ar, favorecendo a susceptibilidade a doenças, além de causar prejuízos na produção. Apesar da grande diversidade de métodos existentes para quantificar a concentração de amônia, a maioria desses métodos apresenta custo elevado ou envolve uma série de etapas em laboratório que podem contaminar a amostra e inviabilizar a análise. Assim, ainda são necessários estudos de comparação, adaptação e aplicação de métodos utilizados para quantificar a amônia. A maior dificuldade está na determinação da emissão de amônia nas instalações abertas, presentes em regiões de clima quente, onde não é possível um controle eficiente das entradas e saídas de ar, o que dificulta a determinação da taxa de ventilação e impede a utilização de vários métodos disponíveis. Por isso, para as instalações abertas, comumente encontradas nos países de clima quente as metodologias mais indicadas são aquelas que não dependem da taxa de ventilação para determinar a concentração e a emissão de amônia nas instalações de produção animal.

**Palavras-chave:** avicultura, emissão de amônia, qualidade do ar

# AMMONIA MEASUREMENT IN FACILITIES BROILER PRODUCTION IN HOT CLIMATE

**ABSTRACT:** The air quality is one of the most important factors in poultry production, once that air pollutants may change the ideal characteristics of air, promoting susceptibility to diseases and causing losses in production. Despite the great diversity of methods to quantify ammonia concentration, the majority of these methods are expensive and involve a serial of laboratory steps, which may contaminate the sample and make infeasible the analysis. Therefore, studies of comparison, adaptation and application of methods to quantify ammonia are still required. The greatest difficulty is in determining the emission of ammonia in open facilities, which are found in hot climate regions, where it is not possible an efficient control of the entrances and exits of air, making hard the determination of the ventilation rate and prevents the use of various available methods. Therefore, to open facilities, commonly found in hot climates, the most appropriate methods are those that do not depend of the ventilation rate to determine ammonia concentration and emission in animal production facilities.

**Keywords:** poultry, emission of ammonia, air quality

## INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é um dos fatores mais importantes na produção avícola (Menegali et al., 2009), uma vez que os poluentes aéreos, eventualmente presentes nos aviários, dependendo de suas concentrações, podem alterar as características ideais do mesmo, favorecendo a susceptibilidade a doenças respiratórias além de causar prejuízos na produção (Miragliotta et al., 2004; Nääs et al., 2007).

A amônia é um dos poluentes aéreos mais freqüentemente encontrado em altas concentrações nos aviários (Owada et al., 2007). Considerando seu impacto ao ambiente, há mais de uma década as emissões de amônia têm sido foco de estudos de pesquisadores em diversos países da Europa e América do Norte (Scholtens, 2004; Mosquera et al., 2005; Faulkner & Shaw, 2008) onde já se procedeu a realização de inventários sobre emissões de gases, tendo seus protocolos referentes a emissões já estabelecidos.

Para as regiões de clima quente ou tropical, como é o caso do Brasil, existem ainda poucos estudos e métodos para determinação das emissões de

amônia (Barreto-Mendes et al., 2014), além de que os estudos relacionados à qualidade do ar pela produção de carne de frango ainda são limitados a algumas iniciativas relacionadas à saúde dos animais e trabalhadores ou problemas de odores nas proximidades das instalações.

Considerando que o conhecimento dos níveis de emissão constitui um dos fatores norteadores principais para que os órgãos nacionais e internacionais possam exercer o controle ambiental e eliminar barreiras na comercialização de produtos da cadeia avícola (Osorio-saraz et al., 2014) e também para manter a posição de maior exportador de carne de frango, o Brasil deve adequar-se as normas e exigências internacionais atendendo aos padrões de qualidade exigidos, aos requisitos de bem estar animal e às questões ambientais relacionadas principalmente à qualidade do ar.

Com isso, são necessárias pesquisas nessas áreas, que minimizem os impactos ao meio ambiente, visando qualidade do ambiente de produção e, assim, menor emissão de gases com potencial efeito estufa para o planeta. Buscando sustentabilidade de produção, tanto em termos de segurança alimentar, garantindo um custo alimentar acessível a população em qualquer classe, como também a preservação do meio ambiente para gerações futuras (Marín, 2011).

## CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA

As medições referentes à concentração de amônia no ambiente são dificultadas principalmente pelo equilíbrio que existe entre a amônia e as partículas gasosas presentes no ar que podem ser voláteis à temperatura ambiente (Yamada et al., 2012). Apesar da grande diversidade de métodos existentes para quantificar a concentração de amônia no ambiente a maioria dos métodos ou apresentam custo elevado ou envolvem uma série de etapas em laboratório que podem levar a contaminação da amostra e inviabilizar toda a análise. Além de que a maioria das metodologias existentes foram desenvolvidas na América do Norte e Europa, voltadas principalmente às instalações fechadas utilizadas nessas regiões, onde existe um controle das entradas e saídas de ar na instalação. Assim, ainda são necessários estudos de comparação, adaptação e aplicação de tais métodos para quantificar a

amônia nas instalações abertas predominantemente utilizadas nos países de clima quente (Felix e Cardoso, 2004).

### **Filter pack**

O método filter Pack foi um dos primeiros métodos para quantificação de amônia, com a tentativa de separação da fase gasosa e particulada, porém os dados obtidos com esse método consideram  $\text{NH}_x$  total, sem qualquer distinção entre as fases, ou seja, podem quantificar amônio ( $\text{NH}_4$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) ao mesmo tempo, sem distinção entre eles. São constituídos por filtros impregnados em ácido para reter a amônia. É um método muito utilizado devido ao seu baixo custo e facilidade de preparação e uso. Após a amostragem a concentração de amônia no filtro é determinada por espectrofotômetro (Felix e Cardoso, 2004).

### **Tubos de difusão passiva**

A técnica de difusão, ou denuders, que são os tubos de difusão passiva, surgiu como uma melhoria do método filter pack por permitir uma amostragem seletiva da fase gasosa e posterior determinação dos particulados por meio da diferenciação do movimento entre gás e partícula. Constituído por um tubo cilíndrico aberto de um dos lados com um meio ácido para reter a amônia por processo de difusão, por isso são considerados métodos passivos (Yamada et al., 2012). É considerada uma forma barata e simples de monitoramento dos poluentes do ar, inclusive amônia (Jiménez et al., 2011).

Vários tipos de tubos já foram propostos, o mais utilizado é um tubo em vidro impregnado com solução ácida em seu interior (Felix e Cardoso, 2004; Yamada et al., 2012). Os tubos de difusão apresentam rápida taxa de amostragem, simplicidade de operação e medições mesmo em diferentes direcionamentos do fluxo de ar (Yamada et al., 2012). Funcionam pelo princípio de difusão molecular onde as moléculas da espécie alvo difundem-se no gradiente de concentração a partir da concentração do ambiente representada pela extremidade aberta do dispositivo (Jiménez et al., 2011).

## **Amostragem ativa**

O método é considerado convencional para determinar a concentração de amônia, baseado na amostragem ativa, constituído por um tubo de amostragem, semelhante aos tubos de difusão passiva, porém com grânulos de carbono impregnados em ácido sulfúrico e uma fonte de ventilação própria, a amônia retida é transformada em sulfato de amônio e posteriormente é quantificada por cromatografia iônica. Esse método apresenta vantagens em relação à sua simplicidade de coleta, em curto período de tempo, considerado uma metodologia rápida e ainda pode ser automatizado (OSHA, 2002).

## **Sensor ou detector eletroquímico**

Os sensores eletroquímicos são dispositivos que permitem coleta de dados e obtenção de informações com a mínima interferência no sistema estudado, foram designados inicialmente para funcionar por alarme que caracteriza a presença do poluente no ar. Normalmente apresentam a resolução de 1 ppm, funcionam baseados na modificação de suas superfícies por diversas camadas ou membranas posicionadas na extremidade do dispositivo que reconhecem a espécie de interesse de maneira seletiva (Wheeler et al., 2003). Apresentam diversas características vantajosas como elevada sensibilidade, custo médio, são portáteis e permitem automação, além de permitir obtenção de informação *in situ* e em tempo real, são cada vez mais precisos, sensíveis e seletivos (Lowinsohn e Bertotti, 2006).

Apesar da versatilidade dos sensores eletroquímicos, a eficiência de um eletrodo pode ser limitada pelo desgaste gradual da sua superfície, uma consequência principalmente da adsorção dos produtos da própria reação de óxido-redução que é utilizada na detecção do poluente (Freire et al., 2003). Quando devidamente calibrados e operados, os sensores eletroquímicos apresentam medições confiáveis de concentração de amônia permitindo avaliação instantânea (Xin et al., 2002).

## **Monitor fotoacústico**

Os monitores fotoacústicos podem ser utilizados para quantificar a concentração de uma gama de gases (multi-gás) como: dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) e amônia (NH<sub>3</sub>), permitindo a medição sequencial em diferentes pontos da instalação por determinados intervalos de tempo (Calvet et al., 2011). Apresentam custo relativamente elevado, quando comparados a outros métodos comumente adotados para quantificação de amônia (Gates et al., 2005; H. Xin et al., 2003).

O princípio do funcionamento do monitor fotoacústico é baseado no método de detecção infravermelho fotoacústico, conferindo capacidade de medição de diversos gases que absorvem a radiação infravermelha (Amaral et al., 2007). Podem ser utilizados para mensurar o monóxido de carbono (CO), quando esse é utilizado como gás marcador para a determinação indireta da taxa de emissão de amônia (Saraz et al., 2013).

### **Cromatografia gasosa**

A técnica de cromatografia gasosa envolve um detector capaz de responder a determinado composto de maneira proporcional a sua concentração no ambiente, realiza análises qualitativas e quantitativas de forma rápida na determinação de compostos presentes em concentrações relativamente baixas em diferentes amostragens, o método direto envolve a preparação de uma série de soluções padrão com concentração próxima ao composto a ser analisado (Ligiero et al., 2009). Essa técnica é utilizada para determinar tanto a concentração de amônia nos ambientes quanto a concentração de amônia capturada nos coletores, bem como para determinar a concentração de hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), quando esse é utilizado como gás marcador para determinar a taxa de emissão de amônia de forma indireta (Saraz et al., 2013).

### **Técnicas de micro difusão ou armadilha de ácido ou borbulhadores**

Diferentes adaptações da câmara de fluxo são utilizadas em nível de pesquisa para quantificar a amônia da cama nas instalações de produção animal no Brasil. É baseado no método de fixação de amônia por microdifusão e quantificação por titulação ácido-base, onde amostras de cama são incubadas em ambiente fechado junto a substância de fixação de amônia volatilizada, podendo-se utilizar ácido bórico como substância de fixação, após a

incubação a quantidade de amônia é determinada por titulação (Hernandes e Cazetta, 2001).

Essa técnica apresenta boa precisão e exatidão, é acessível, uma vez que utiliza materiais de baixo custo e reagentes acessíveis, pode ser utilizado em condições de campo desde que a amônia produzida possa ser confinada no ambiente de incubação para que possa ser fixada pelo ácido bórico (Hernandes e Cazetta, 2001).

A utilização da técnica de mensuração conhecida como armadilha ácida, constituída por um tubo de ensaio com ácido ortofosfórico ligado a bombas para borbulhamento de ar no ácido, foi considerada a técnica mais adequada para mensurar as perdas de amônia nas instalações de frangos de corte (Nicholson et al., 2004).

O Método Saraz ou SMDAE (Saraz Method for Determination of Ammonia Emissions) é uma adaptação do método de fluxo passivo baseado no método de difusão de massa e no nitrogênio amoniacal total volatilizado e capturado. O equipamento é constituído por tubo e esponjas impregnadas em solução de ácido sulfúrico e glicerina para fixação da amônia quantificada por titulação ácido base (Osorio-Saraz et al., 2014).

## EMISSÃO DE AMÔNIA

Na determinação da emissão de amônia, maior atenção deve ser dada às medições da ventilação nas instalações abertas, que é dificultada devido às condições instáveis do vento. Principalmente quanto à necessidade de alguns métodos, de identificação exata de pontos de entrada e saída de ar, e esses praticamente não podem ser definidos nas instalações abertas das regiões de clima quente, como é o caso do Brasil (Calvet et al., 2011). Contornando esses problemas referentes a determinação da velocidade do ar, na ausência de outros métodos confiáveis e pela falta de protocolos de referência para tais condições, os métodos já protocolados nos países da América do Norte e Europa podem ser aplicados nas instalações abertas.

### **Produto entre taxa de ventilação e diferença de concentração**

O protocolo usado atualmente na Europa para quantificar as emissões de  $\text{NH}_3$  provenientes das instalações de produção animal especifica que as

medições devem ser realizadas pela taxa de ventilação e pela concentração média de  $\text{NH}_3$  do ar que entra e sai da instalação. A emissão de  $\text{NH}_3$  é então calculada como o produto da taxa de ventilação e a concentração média de  $\text{NH}_3$  (Mosquera et al., 2005).

O principal desafio da aplicação desse protocolo nas instalações com ventilação natural no Brasil é dado a dificuldade na determinação da taxa de ventilação necessária para o cálculo da emissão de amônia. Existem algumas técnicas que podem ser aplicadas para determinar a velocidade do ar em instalações com ventilação natural, entre elas: diferença de pressão, uso de anemômetros de fio quente, ultra- som e métodos de gases marcadores (Ogink et al., 2013):

- O método de diferença de pressão depende das aberturas de entrada e saída de ar para determinar a diferença de pressão entre o interior e o exterior da instalação, porém com a falta de uniformidade e velocidade do ar nas instalações com ventilação natural, esse método não é confiável para estimar a taxa de ventilação nas instalações abertas de clima quente.

- A utilização de anemômetro de fio quente pode se tornar onerosa uma vez que é necessário um sensor tridimensional para suprimir as variações na direção do vento, assim uma alternativa mais econômica é o sensor ultra- som por ser mais barato e robusto em relação ao anemômetro tridimensional.

- As técnicas com gás marcador são as mais utilizadas e recomendadas para medir a taxa de ventilação em instalações com ventilação natural. Esse método é baseado no princípio de conservação de massa no processo de ventilação. A taxa de ventilação é determinada em função do monitoramento tanto da taxa de injeção quanto da concentração do gás marcador adicionado ao ambiente. Entre os gases que podem ser utilizados como gases marcadores incluem: óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), entre outros (Mendes et al., 2015; Mosquera et al., 2005; Ogink et al., 2013; Saraz et al., 2013).

### **Gás Marcador**

O método de gás marcador ou gás traçador, é o mais utilizado para quantificar as emissões de amônia nas instalações com sistema de ventilação

natural, é baseado no equilíbrio de massas, onde um gás marcador de origem natural ou artificial é injetado na instalação a uma taxa constante ( $Q_{tracer}$ ) e são retiradas amostras para determinar a concentração do gás marcador ( $C_{tracer}$ ) e a concentração de amônia ( $C_{NH_3}$ ) conforme Equação 1.

$$Q_{NH_3} = \frac{C_{NH_3}}{C_{tracer}} Q_{tracer} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$Q_{NH_3}$  – Emissão de amônia ( $m^3.s^{-1}$ )

$C_{NH_3}$  – Concentração de amônia (ppm)

$C_{tracer}$  – Concentração do gás marcador (ppm)

$Q_{tracer}$  – Taxa de injeção do gás marcador ( $m^3.s^{-1}$ ).

Para que essas amostras sejam representativas o ponto de medição deve ser o mais longe possível das fontes de amônia e do gás marcador a fim de garantir uma homogeneização entre os gases na instalação. Normalmente o gás marcador é injetado no chão próximo aos dejetos e a coleta das amostras é feita no ponto mais alto da instalação, próximo a cumeeira do telhado. Para obter uma concentração média no interior da instalação Mosquera et al. (2005) recomendam utilizar um ponto de coleta a cada  $10 m^2$ .

Com medições contínuas da concentração de amônia e da taxa de ventilação, os resultados obtidos com esse método tornam-se precisos e confiáveis. Uma vantagem desse método é que ele possibilita o conhecimento da dinâmica da emissão de amônia (Mosquera et al., 2005).

Um cuidado maior deve ser dado ao fato de que a mistura entre os gases pode ocorrer a favor do vento, exigindo maior similaridade nos padrões de origem do marcador e da concentração da amônia que será mensurada. Pelo método da razão de gás marcador não há necessidade de monitoramento da taxa de ventilação para estimar a emissão de amônia, desde que haja uma medição precisa da velocidade de liberação do gás marcador e das concentrações tanto do poluente como da amônia (Mendes et al., 2015). Para as instalações com ventilação natural recomenda-se a utilização da técnica de gás marcador desde que as medições sejam feitas no perímetro da instalação e na direção predominante dos ventos (Saraz et al., 2013).

A principal vantagem da utilização do método da razão do gás marcador nas instalações típicas do Brasil é que ele estima a emissão do poluente diretamente, sem precisar da taxa de ventilação do ar. Assim, como no método para determinação da taxa de ventilação o ponto mais representativo para as medições das concentrações é na região mais próxima a saída do ar. O método de marcadores de gás é o mais indicado e mais provável de se tornar um método de referência para as instalações abertas com ventilação natural, porém ainda necessitam de aperfeiçoamento (Ogink et al., 2013; Calvet et al., 2013; Mendes et al., 2015).

### **Métodos de balanço de massa**

O método de balanço de massa considera todas as formas de nitrogênio geradas na instalação, para isso são utilizados modelos matemáticos com base em transferência de massa para determinar as emissões de amônia (Saraz et al., 2013). Uma forma simples de balanço de amônia, utilizado nas instalações onde é possível a determinação da taxa de ventilação, demanda medições das concentrações de amônia e da taxa de ventilação do ambiente (Calvet et al., 2011).

A técnica mais aplicada no Brasil baseia-se no balanço de massa de um gás marcador com uma taxa de liberação conhecida, o gás mais comumente utilizado é o CO<sub>2</sub> produzido metabolicamente, por apresentar vantagens de homogeneidade com o ar, custos reduzidos, e ainda, por estar prontamente disponível nos confinamentos de animais (Barreto-Mendes et al., 2014). Os métodos de balanço de massa de CO<sub>2</sub> podem ser aplicados nas instalações com ventilação natural, pois são consideradas as medidas das concentrações de dióxido de carbono em função do animal e dos dejetos como base para a estimativa da taxa de ventilação, conforme Equação 2 (Mendes et al., 2014; Pedersen et al., 2008).

$$Q = \frac{A \cdot (CO_2)_{metabolic} (CO_2)_{litter}}{\Delta[CO_2]} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Q – Taxa de ventilação da instalação (m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>ave<sup>-1</sup>)

A – Atividade relativa do animal; adimensional, Pedersen et al. (2008)

$(CO_2)_{metabolic}$  – Produção metabólica de  $CO_2$  ( $m^3d^{-1}ave^{-1}$ )

$(CO_2)_{litter}$  –  $CO_2$  liberado pelos dejetos ( $m^3d^{-1}ave^{-1}$ )

$\Delta[CO_2]$  = ( $[CO_2]_{dentro}$  -  $[CO_2]_{fora}$ )  $CO_2$  no interior e exterior da instalação (ppm<sub>v</sub>) .

Assim, a partir da taxa de ventilação determinada, a taxa de emissão de amônia pode ser calculada segundo a Equação 3.

$$NH_3ER = \frac{Q \cdot \Delta[NH_3] \cdot W_{NH_3}}{V_{NH_3}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Q – Taxa de ventilação da instalação ( $m^3d^{-1}ave^{-1}$ )

$NH_3ER$  – Taxa de emissão de amônia ( $g ave^{-1}d^{-1}$ )

$\Delta[NH_3]$  – Diferença de  $NH_3$  na entrada e saída da instalação (ppm<sub>v</sub>)

$W_{NH_3}$  – Peso molecular de  $NH_3$  ( $17.031 g mol^{-1}$ )

$V_{NH_3}$  – Volume molar  $NH_3$  à temperatura ( $25^\circ C$ ) e pressão (1 atm e  $0,0245 m^3 mol^{-1}$ ).

O método de balanço de massa de  $CO_2$  para determinar as emissões de amônia nas instalações de produção de frangos de corte mostra-se eficiente e pode ser aplicado nas instalações com ventilação natural (Mendes et al., 2014). Entretanto os principais desafios na utilização do  $CO_2$  no balanço de massa são relacionados à estimativa correta do  $CO_2$  metabólico que depende da atividade relativa do animal e à localização correta do ponto de medição de sua concentração (Barreto-Mendes et al., 2014).

### **Amostradores de fluxo passivo**

Os amostradores de fluxo passivo (PFS) são baseados na difusão de uma superfície de reação, constituídos por tubos de amostragem com material absorvente e solução de fixação de amônia, como tiras de papel filtro embebido em ácido sulfúrico, em resumo, utilizam um tubo revestido com ácido em seu

interior (Ogink et al., 2013; Mosquera et al., 2005). Segundo o princípio de captação da amônia na mesma velocidade da corrente de ar na instalação, eles não necessitam de medições de taxa de ventilação, o que permite sua aplicação nas instalações com ventilação natural, praticadas no Brasil, onde o vento apresenta características complexas, em termos de direção e velocidade, e com isso é difícil sua determinação. Assim, a taxa de captura de amônia depende somente da concentração de amônia e da velocidade do vento que flui sobre o tubo (Ogink et al., 2013; Mosquera et al., 2005), podendo não ocorrer nenhuma evidência de viés de turbulência induzida pelo vento (Jiménez et al., 2011).

Vários tipos de tubos já foram propostos, porém o mais utilizado trata-se de um tubo em vidro impregnado com solução ácida em seu interior (Felix e Cardoso, 2004; Yamada et al., 2012). O modelo conhecido como Ferm Tube não sofre interferência das partículas, mas necessita de um longo período de amostragem (Ferm, 1979) enquanto o denuder anular, conhecido como AMANDA (Medição de Amônia por Amostragem Denuder Anelar; Wyers et al., 1993), apresenta menor tempo de amostragem, cerca de 10 a 20 minutos, porém custo muito mais elevado que outros (Saraz et al., 2013). Os mais comumente empregados são filtros de celulose impregnados em solução ácida (Franco et al., 2000).

Os amostradores de fluxo passivo são caracterizados como uma alternativa que permite monitorar as emissões de amônia de forma confiável, simples e a baixo custo (Ogink et al., 2013; Jiménez et al., 2011; Saraz et al., 2013). Apresentam diversas vantagens por serem fáceis de construir com materiais simples, fáceis de transportar e manusear além de requerem de poucas análises laboratoriais, entretanto como desvantagem desse método está a necessidade de longos períodos de amostragens (Mosquera et al., 2005; Saraz et al., 2013).

### **Câmaras de fluxo**

As câmaras de fluxo constituem um método alternativo promissor na determinação das emissões gasosas, especialmente nos sistemas de alojamento onde balanços de massa e técnicas de gases marcadores são inseguras, normalmente apresentam baixo custo de investimento e

apresentação facilidade de utilização (Ogink et al., 2013; Mosquera et al., 2005; Calvet et al., 2013; Parker et al., 2013).

Trata-se de uma caixa construída em material inerte, colocada no chão com o ar recirculado no interior da caixa (Parker et al., 2013). Uma quantidade constante de gás marcador é injetada através de controlador de fluxo de massa. A emissão de amônia é calculada de forma similar ao método de gás marcador, pela razão entre o aumento na concentração de amônia e do gás marcador (Mosquera et al., 2005).

O método também é conhecido como caixa de medição rápida, como o próprio nome sugere, permite medições rápidas e confiáveis da emissão de amônia diretamente da fonte (Mosquera et al., 2005). Uma das principais limitações na quantificação precisa do método de câmara de fluxo é a necessidade de um grande número de medições em diferentes dias e locais, devido a variabilidade espacial no interior da instalação (Ogink et al., 2013).

Para estimar a emissão de amônia em instalações com ventilação natural utilizando o método de câmaras de fluxo, é necessário estudar as características do fluxo de ar nas regiões próximas ao piso em termos de velocidade e nível de turbulência do ar acima da superfície de emissão. As dimensões da câmara, área superficial e altura, podem afetar o valor estimado da emissão de amônia nas instalações com ventilação natural (Mosquera et al., 2005; Ogink et al., 2013).

### **Unidade de monitoramento portátil (PMU)**

A unidade de monitoramento portátil (PMU) apresenta custo relativamente baixo quando comparada a outros dispositivos similares (Amaral et al., 2007; Gates et al., 2005; Xin et al., 2004), é uma alternativa para o monitoramento contínuo das emissões de amônia nas instalações de produção animal. A taxa de emissão média é calculada baseada na taxa de ventilação e na concentração de amônia (Wheeler et al., 2003). Pode ser utilizada nas instalações abertas desde que seja considerada a imprecisão na medição da taxa de ventilação, e por isso são mais indicadas para instalações com pressão negativa, onde as laterais são fechadas. Quando combinada a determinação da taxa de ventilação de forma correta e confiável, a PMU produz dados de emissão de amônia de qualidade razoável (Xin et al., 2002). Portanto, em

instalações fechadas, é uma alternativa confiável que pode ser utilizada no monitoramento contínuo de concentração e emissão de amônia (Amaral et al., 2007).

No Brasil a PMU pode ser utilizada tanto nas instalações com pressão negativa, onde as laterais são fechadas quanto nas instalações abertas com ventilação natural, porém, nesse caso é necessário maior número de pontos de amostragem ao longo de toda a instalação, em diferentes alturas e próximo a saídas de ar, associado ao monitoramento constante da velocidade e direção do vento (Saraz et al., 2013).

### **Método Saraz ou SMDAE**

O Método Saraz ou SMDAE (Método Saraz para Determinação das Emissões de Amônia) é uma adaptação do método de fluxo passivo utilizado para determinar o fluxo de amônia nas instalações de produção animal em sistemas de criação que utilizam cama. É baseado no método de difusão de massa e no nitrogênio amoniacal total volatilizado e capturado. O equipamento é constituído por um tubo com esponjas impregnadas em solução de ácido sulfúrico e glicerina. A quantificação da amônia é feita por titulação ácido base e o fluxo de amônia obtido em função da quantidade de amônia capturada no coletor, da área superficial da esponja e do tempo de exposição, o fluxo de amônia é calculado pela Equação 4 (Osorio-Saraz et al., 2014).

$$SMDAE = \frac{NH_3}{A \cdot t} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

SMDAE – Fluxo de amônia ( $\text{g NH}_3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$\text{NH}_3$ – Quantidade de amônia capturada ( $\text{g NH}_3$ )

A – Área da esponja ( $\text{m}^2$ )

t – Tempo de exposição da esponja (s).

O método SMDAE é considerado eficiente e pode ser utilizado como uma alternativa para determinar o fluxo de amônia proveniente de cama de frango em instalações com ventilação natural (Osorio-Saraz et al., 2014) desde

que sejam identificadas entradas e saídas de ar para mensuração em no mínimo dois pontos de amostragens. Por causa da possibilidade de maior área de captação e pela simplicidade do equipamento, essa técnica é menos onerosa que outros métodos (Saraz et al., 2013).

## CONCLUSÕES

Existem diversos métodos para quantificar a concentração de amônia nos ambientes de produção animal, sendo possível escolher o mais adequado em cada situação específica, de acordo com custos, disponibilidade de materiais, período de coleta, finalidade de amostragem, entre outros fatores relevantes para o conhecimento da amônia presente no ambiente. Porém, a maior dificuldade está na determinação da emissão de amônia nas instalações abertas onde não é possível um controle eficiente das entradas e saídas de ar, o que acaba por dificultar a determinação da taxa de ventilação e impedir a utilização de muitos dos métodos disponíveis que requerem a taxa de ventilação. Por isso, para as instalações abertas, comumente encontradas nos países de clima quente as metodologias que não dependem da taxa de ventilação são as mais indicadas para a determinação da concentração e principalmente da emissão de amônia nas instalações de produção animal.

## AGRADECIMENTOS

Capes, Fapemig e CNPq.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, M.F.P.; GATES, R.S.; WILKERSON, E.G.; OVERHULTS, D.G.; TINOCO, I.F.F.; LI, H.; BURNS, R.T.; XIN, H.; EARNEST, J.W. Comparison between two systems for ammonia emission monitoring in broiler houses. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AIR QUALITY AND MANURE MANAGEMENT FOR AGRICULTURE. **Anais...** St. Joseph, ASABE: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007.

BARRETO-MENDES, L.; FERREIRA-TINOCO, I.D.F.; OGINK, N.; OSORIO-HERNANDEZ, R.; OSORIO-SARAZ, J.A. A refined protocol for calculating air flow rate of naturally ventilated broiler barns based on CO<sub>2</sub> mass balance. **Dyna**, Medellín, v. 81, n. 185, p. 189–195, 2014.

CALVET, S.; CAMBRA-LÓPEZ, M.; ESTELLÉS, F.; TORRES, A. G. Characterization of gas emissions from a Mediterranean broiler farm. **Poult. Sci.**, New Orleans, v. 90, p. 534–542, 2011.

CALVET, S.; GATES, R.S.; ZHANG, G.; ESTELLÉS, F.; OGINK, N.W.M.; PEDERSEN, S.; BERCKMANS, D. Measuring gas emissions from livestock buildings: A review on uncertainty analysis and error sources. **Biosyst. Eng.**, v. 116, n. 3, p.221–231, 2013.

FAULKNER, W.B.; SHAW, B.W. Review of ammonia emission factors for United States animal agriculture. **Atmos. Environ.** v. 42, n. 2008, p. 6567–6574, 2008. Doi:10.1016/j.atmosenv.2008.04.021.

FELIX, E.P.; CARDOSO, A.A. Amônia (NH<sub>3</sub>) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 123–130, 2004.

FERM, M. Method for determination of atmospheric ammonia. **Atmos. Environ.**, v. 13, n. 10, p. 1385–1393, 1979.

FRANCO, A.; CARDOSO, A.A.; ALLEN, A.G. Extração de amônio de filtros de amostragem, coleta e determinação pelo método da gota suspensa. **Eclet. Quim.**, São Paulo, v. 25, p. 161–170, 2000.

FREIRE, R.S.; PESSOA, C. A.; KUBOTA, L.T. Emprego de monocamadas auto-organizadas no desenvolvimento de sensores eletroquímicos. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 381-389, 2003.

GATES, R.S.; XIN, H.; CASEY, K.D.; LIANG, Y.; WHEELER, E.F. Method for Measuring Ammonia Emissions from Poultry Houses. **Poultry Sci. Assoc.**, New Orleans, v. 14, n. 4, p. 622–634, 2005.

H. XIN; Y. LIANG; A. TANAKA; R. S. GATES; E. F. WHEELER; K. D. CASEY; A. J. HEBER; J. Q. NI; H. LI. Ammonia emissions from u.s. poultry houses: part i - measurement system and techniques. In: AIR POLLUTION FROM AGRICULTURAL OPERATIONS - III. **Anais...**St. Joseph, ASAE: American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 106-115, 2003.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J.O. Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Rev. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 824-829, 2001.

JIMÉNEZ, A.S.; HEAL, M.R.; BEVERLAND, I.J. Intercomparison study of NO<sub>x</sub> passive diffusion tubes with chemiluminescence analysers and evaluation of bias factors. **Atmos. Environ.**, v. 45, n. 2011, p. 3062–3068, 2011.

LIGIERO, C.B.P.; DOS REIS, L.A.; PARRILHA, G.L.; FILHO, M.B.; CANELA, M.C. Comparação entre métodos de quantificação em cromatografia gasosa: Um experimento para cursos de química. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 5, p. 1338–1341, 2009.

LOWINSOHN, D.; BERTOTTI, M. Sensores eletroquímicos: Considerações sobre mecanismos de funcionamento e aplicações no monitoramento de espécies químicas em ambientes microscópicos. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1318-1325, 2006.

Marín, O.L.Z. **Caracterização e avaliação do potencial fertilizante e poluente de distintas camas de frango submetidas a reusos sequenciais na zona da mata do estado de Minas Gerais**. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MENDES, L.B.; EDOUARD, N.; OGINK, N.W.M.; VAN DOOREN, H.J.C.; TINÔCO, I.D.F.F.; MOSQUERA, J. Spatial variability of mixing ratios of ammonia and tracer gases in a naturally ventilated dairy cow barn. **Biosyst. Eng.**, v. 129, n. 2015, p. 360–369, 2015.

MENDES, L.B.; TINOCO, I.F.F.; OGINK, N.W.M.; ROCHA, K.S.O.; OSORIO S., J.A.; SANTOS, M.S. Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.**, Campina Grande, v. 18, n. 11, p. 1179–1185, 2014.

MENEGALI, I.; TINÔCO, I.D.F.F.; BAÊTA, F.C.; CECON, P.R.; GUIMARÃES, M.C.D.C.; CORDEIRO, M.B. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.**, Campina Grande, v. 13, suplemento, p. 984–990, 2009. Doi:10.1590/S1415-43662009000700022.

MIRAGLIOTTA, M.Y.; NÄÄS, I.A.; MURAYAMA, M.C.; MOURA, D.J. Software para estimativa de emissão de amônia. **Rev. Bras. Agroinformática**, v. 6, n. 2, p. 79–89, 2004.

MOSQUERA, J.; MONTENY, G.J.; ERISMAN, J.W. Overview and assessment of techniques to measure ammonia emissions from animal houses: the case of the Netherlands. **Environ. Pollut.**, v. 135, n. 2005, p. 381–8, 2005.

NÄÄS, I.A., MIRAGLIOTTA, M.Y.; BARACHO, M.S.; MOURA, D.J. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Eng. Agrícola.**, Jaboticabal, v. 27, n.2, p. 326–335, mai/ago. 2007.

NICHOLSON, F.A.; CHAMBERS, B.J.; WALKER, A.W. Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. **Biosyst. Eng.**, v. 89, n. 2, p. 175–185, 2004.

OGINK, N.W.M.; MOSQUERA, J.; CALVET, S.; ZHANG, G. Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. **Biosyst. Eng.**, v. 116, n. 2013, p. 297-308, 2013.

OSHA. **Ammonia in Workplace Atmospheres e Solid Sorbent**, Method ID-188. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, p. 1-3, 2002.

OSORIO-SARAZ, J.A.; FERREIRA-TINOCO, I.D. FATIMA; GATES, R.S.; OLIVEIRA-ROCHA, K.S.; COMBATT-CABALLERO, E.M.; CAMPOS-DE-SOUSA, F. Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. **Dyna**, Medellín, v. 81, n. 187, p. 137–143, 2014.

OWADA, A.N., NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J.; BARACHO, M.D.S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Eng. Agrícola.**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611–618, 2007. Doi:10.1590/S0100-69162007000400003.

PARKER, D.; HAM, J.; WOODBURY, B.; CAI, L.; SPIEHS, M.; RHOADES, M.; TRABUE, S.; CASEY, K.; TODD, R.; COLE, A. Standardization of flux chamber and wind tunnel flux measurements for quantifying volatile organic compound and ammonia emissions from area sources at animal feeding operations. **Atmos. Environ.**, v. 66, n. 2013, p. 72–83, 2013.

PEDERSEN, S.; BLANES-VIDAL, V.; JOERGENSEN, H.; CHWALIBOG, A.; HAEUSSERMANN, A.; HEETKAMP, M.J.W.; AARNINK, A.J. A. “Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature Review”. In: AGRICULTURAL ENGINEERING INTERNATIONAL. **Anais...** CIGR Ejournal. Manuscript BC 08 008, v. X. p. 1-19, 2008.

SARAZ, J.A.O.; TINÔCO, I. DE F.F.; GATES, R.S.; PAULA, M.O. DE; MENDES, L.B. Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. **Dyna**, Medellín, v. 80, n. 178, p. 51–60, 2013.

SCHOLTENS, R. Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores-part 1: development and validation of external tracer ratio, internal tracer ratio and passive flux sampling methods. **Atmos. Environ.**, v. 38, n. 2004, p. 3003–3015, 2004. Doi:10.1016/j.atmosenv.2004.02.030

WHEELER, E.F.; ZAJACZKOWSKI, J.S.; TOPPER, P.A.; GATES, R.S.; XIN, H.; CASEY, K.D.; LIANG, Y. Ammonia Emissions from Broiler Houses in Pennsylvania During Cold Weather. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GASEOUS AND ODOUR EMISSIONS FROM ANIMAL PRODUCTION FACILITIES. **Anais...** Horsens, Jutland, Denmark: 2003.

XIN, H.; LIANG, Y.; GATES, R.S.; WHEELER, E.F. Ammonia Emission from Iowa Layer Houses. In: MIDWEST POULTRY FEDERATION CONVENTION. **Anais...** St. Paul, MN: 2004.

XIN, H.; WANG, T.; GATES, R.S.; WHEELER, E.F. A Portable System for Continuous Ammonia Measurement in the Field. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Anais...** St. Joseph, Michigan: ASAE Annual Meeting, 2002.

YAMADA, T.; UCHIYAMA, S.; INABA, Y.; KUNUGITA, N.; NAKAGOME, H.; SETO, H. A diffusive sampling device for measurement of ammonia in air. **Atmos. Environ.**, v. 54, n. 2012, p. 629–633, 2012.

WYERS, G.P.; OTJES, R.P.; SLANINA, J. A continuous-flow denuder for the measurements of ambient concentrations and surface-exchange fluxes of ammonia. **Atmos. Environ.**, v. 27, n. A, p. 2085– 2090, 1993.

### **ARTIGO III**

## **MEDIDAS PARA MINIMIZAR A EMISSÃO DE AMÔNIA NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE: REVISÃO**

*Artigo publicado na “Brazilian Journal of Biosystems Engineering”  
v. 10(1): 51-61, 2016. ISSN 2359-6724*

# MEDIDAS PARA MINIMIZAR A EMISSÃO DE AMÔNIA NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE: REVISÃO

F. C. Sousa<sup>1\*</sup>, I. F. F. Tinôco<sup>1</sup>, M. O. Paula<sup>1</sup>, A. L. Silva<sup>1</sup>, C. F. Souza<sup>1</sup>, F. J. F. Batista<sup>2</sup>, M. Barbari<sup>3</sup>

\* fernanda.sousa@ufv.br

<sup>1</sup> UFV - Univ Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil

<sup>2</sup> Universidade de Évora, Évora, Portugal

<sup>3</sup> Università degli Studi di Firenze, Florença, Itália

*Article history:* Received 24 October 2015; Received in revised form 29 February 2016; Accepted 02 March 2016; Available online 21 March 2016.

## RESUMO

As principais fontes de geração de amônia estão nas atividades agrícolas, com grande representação da avicultura, por utilizar sistemas de confinamento com adoção de cama sobreposta ao piso para reter os dejetos. A amônia produzida nos sistemas de produção de frangos de corte gera diversos danos aos animais, humanos e ao meio ambiente. A principal fonte de amônia nos dejetos depositados na cama é o nitrogênio excretado. Com a adoção de técnicas apropriadas de manejo do ambiente, por meio da adequada ventilação e manejo da cama, pelo controle de pH, temperatura e umidade são possíveis reduções significativas na emissão de amônia, bem como com a utilização de aditivos e controle do adequado teor de nitrogênio que é fornecido nas rações.

**Palavras-chave:** avicultura, poluição atmosférica, qualidade do ar

## ACTIONS TO MINIMIZE AMMONIA EMISSION IN BROILER PRODUCTION: REVIEW

### ABSTRACT

The main sources of ammonia generation are in agricultural activities, with great representation of poultry, by using feed lot systems with adoption of deep bedding on floor to retain the manure. Ammonia produced in broiler systems production generates damages to animals, humans and environment. The main source of ammonia in the manure deposited on the bed is the excreted nitrogen. With the adoption of appropriate techniques of environmental management, through of adequate ventilation and bed management, control of pH, temperature and humidity are possible significant reductions in ammonia emission, as well as with the use of additives and control the appropriate nitrogen content that is provided in the rations.

**Keywords:** air pollution, air quality, poultry

## INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas são as principais fontes de geração de emissão de amônia ( $\text{NH}_3$ ) para atmosfera, ocorrendo principalmente nas instalações pecuárias, ou confinamentos, onde existe acúmulo de dejetos (Atia, 2008). Nos Estados Unidos e Canadá a agricultura é responsável por três quartos das emissões de amônia, sendo que desse total a maior parte é dada a produção animal (Bittman & Mikkelsen, 2009).

A avicultura de corte tem se destacado entre os principais sistemas de confinamento, por ser a forma mais barata e eficiente de produção de proteína de origem animal para alimentar a crescente população mundial, além de apresentar diversas vantagens em relação a outros sistemas, como por exemplo, curtos ciclos de produção, elevado nível tecnológico, requer pequeno espaço para produção e utiliza menos água e energia (Mendes et al., 2012).

O desempenho do frango de corte é diretamente proporcional à qualidade da ração que é oferecida ao mesmo, normalmente são oferecidas rações com elevados teores de energia e proteína, com nitrogênio em excesso para garantir que as necessidades nutricionais dos animais sejam atendidas (Gay & Knowlton, 2009) e com isso a ração torna-se a principal fonte de nitrogênio produzido na avicultura (Mendes et al., 2012).

Porém a geração de grande volume de resíduos com relevante concentração de nitrogênio pode representar um inconveniente à qualidade do ar nas instalações de produção animal (Oviedo-Rondón, 2008). Os dejetos depositados na cama aviária são responsáveis pela produção de gases no interior de uma instalação e constitui o principal meio de emissão de gases (Nääs et al., 2007; Oliveira & Monteiro, 2013) uma vez que apenas 45% do nitrogênio consumido na ração é retido como proteína animal e o restante, cerca de 55%, é excretado na forma de dejetos na cama (Silva et al., 2006), o fator de emissão de amônia nos dejetos é estimado em 35% do nitrogênio amoniacal excretado pelas aves (Misselbrook et al., 2010).

Com isso, são necessárias pesquisas que minimizem os impactos ao meio ambiente, visando qualidade do ambiente de produção e, assim, menor emissão de gases com potencial efeito estufa para o planeta, buscando sustentabilidade de produção, tanto em termos de segurança alimentar, garantindo um custo alimentar acessível a população em qualquer classe, como também a preservação do meio ambiente para gerações futuras (Marín, 2011).

### **MEDIDAS PARA MINIMIZAR A EMISSÃO DE AMÔNIA**

Para reduzir os níveis de amônia nos ambientes de produção de frangos de corte pode-se fazer uso de diversas técnicas, uma vez que a emissão deste gás nas instalações é influenciada por diversos fatores, e entre eles destacam-se: o tipo de construção, a umidade da cama, as condições do macro clima local, como temperatura, ventilação e fluxo, velocidade e umidade relativa do ar (Miragliotta, 2005). Assim, o equilíbrio entre as condições ideais de ventilação e manejo do ambiente de alojamento é imprescindível para que se consiga sustentabilidade na produção de frangos de corte em regiões com condições de clima quente ou tropical como é o caso do Brasil (Nääs et al., 2007).

As concentrações máximas de amônia sugeridas por NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health (2001), indicam que os seres humanos podem estar expostos a 25 ppm, por 8 hs de permanência no ambiente, 35 ppm durante 15 min e 50 ppm por 5 min. Para o caso dos animais, recomenda-se um nível máximo de 20 ppm de amônia para exposição contínua no interior das instalações, durante toda a fase de criação (Wathes et al., 1997; Owada et al., 2007). Na Tabela 1 são apresentados os efeitos e as características resultantes da presença de diferentes concentrações de amônia no ambiente.

Tabela 1. Efeitos e características de diferentes concentrações de amônia nos sistemas de produção animal

Amônia (ppm)	Humanos	Animais
5	Detectável apenas por algumas pessoas (Ritz et al., 2005)	
10	Facilmente detectável pelo cheiro (Ritz et al., 2005)	
20	Limite de tolerância recomendado no conteúdo do ar em ambientes frequentados por trabalhadores com jornadas de trabalho de até 48 horas semanais. Nessa concentração o ambiente é considerado medianamente insalubre pela NR-15 (ABNT, 1978)	As aves começam a sentir-se mal. Concentração máxima recomendada para o interior das instalações de produção animal (Wathes et al., 1997; Owada et al., 2007)
25	Máxima concentração permitida para trabalhadores expostos por 8 horas de permanência no ambiente (NIOSH, 2001)	Diminuição significativa do peso corporal final dos frangos de corte expostos durante toda a fase de criação, chegando a ocorrer perdas de peso de 90g por aves ao final do lote (Lott & Donald, 2003)
30	Tosse, dificuldade respiratória, secreção de saliva, formação de catarro, retenção de urina (Donham, 2000)	
35	Máxima concentração permitida para trabalhadores expostos por 15 minutos de permanência no ambiente (NIOSH, 2001)	
50	Irritação nos olhos. Máxima concentração permitida para trabalhadores expostos por 5 minutos de permanência no ambiente (NIOSH, 2001)	Irritação nos olhos, queda na produção pela incidência de doenças como: aumento da secreção lacrimal, traqueíte catarral, queratoconjuntivite e fotofobia (Café & Andrade, 2001)
100	Queimadura nos olhos, cegueira temporária, irritação na pele (Perry, 2003)	Imediata redução da taxa de respiração prejudicando os processos fisiológicos de trocas gasosas quando chega a corrente sanguínea, esse efeito tóxico pode levar a óbito (Curtis, 1983)
500	Acesso de tosse violento, forte irritação nos pulmões, edema pulmonar e até mesmo morte (Perry, 2003)	Dose letal mesmo durante curtos períodos de exposição (Groot Koerkamp et al., 1998)

## Ventilação

A ventilação como parte do acondicionamento térmico do ambiente em galpões avícolas permite alterar e controlar a qualidade do ar, provendo a renovação do ar, eliminando a amônia e outros gases do interior dos ambientes de produção (Tinôco,

2001). Normalmente no interior de uma instalação de produção de frangos de corte existem três camadas de ar distintas: a camada mais elevada próxima ao forro possui ar quente com elevados níveis de sulfeto de hidrogênio e amônia, uma camada intermediária onde predomina o ar mais puro e uma camada mais inferior com ar frio e dióxido de carbono proveniente da respiração das aves (Osório et al., 2009).

Existem equipamentos que atuam para minimizar os efeitos indesejáveis da amônia no ambiente, que é o caso da instalação de ventiladores ou exaustores, estes quando bem ajustados são imprescindíveis no controle da qualidade do ar e no conforto térmico dos animais. Tais equipamentos são responsáveis pela renovação do ar, amenizando os efeitos dos gases poluentes, entre eles, a amônia. Devem ser adequadamente instalados para que atendam as condições de bem estar dos animais, e com atenção à sua amplitude uma vez que o vento não pode ser direcionado ao chão para evitar levantamento de poeira da cama, prejudicando a respiração dos animais.

Os níveis de amônia no interior de uma instalação de produção de frangos de corte são mais elevados durante as primeiras semanas de vida das aves, quando a cama é reutilizada, e nesse momento ocorre a fase de aquecimento onde as instalações permanecem fechadas, durante a maior parte do tempo, adotando somente ventilação mínima para garantir a qualidade higiênica do ar e manter a temperatura adequada aos animais. À medida que os animais crescem a taxa de ventilação aumenta e com isso os níveis de amônia diminuem já que o aumento da ventilação promove redução da carga contaminante no interior da instalação (Miles et al., 2004).

Aumentar a taxa de ventilação é uma estratégia para diminuir os níveis de amônia dentro das instalações, pois além de diluir a sua concentração no ar favorece a remoção desse gás para o exterior da instalação. Esse aumento na taxa de ventilação promove também aumento da taxa de secagem da cama o que conseqüentemente diminui a volatilização da amônia (Gay & Knowlton, 2009) uma vez que as reações dependem do

teor de umidade, e quanto maior a umidade, maior degradação dos compostos nitrogenados e maior a conversão de amônio em amônia, que é a forma volátil.

A utilização de sistema de ventilação mínima ou higiênica, na fase inicial de criação, entre a primeira e a terceira semanas de vida das aves, mesmo durante o inverno, promove redução das concentrações de amônia a níveis inferiores aos limites considerados ideais pela literatura, ou seja, abaixo de 20 ppm (Wathes et al., 1997; Miragliotta, 2000; NIOSH, 2001; Jones et al., 2005; Owada et al., 2007) mantendo a qualidade do ar em condição adequada para as aves e trabalhadores (Vigoderis et al., 2010).

Entretanto o manejo da ventilação mínima ou higiênica pode não ser suficiente para possibilitar renovação do ar adequada e garantir a qualidade do ar, ou seja, livre da presença de amônia, no primeiro dia de alojamento de pintinhos de corte, sendo necessário adequar o manejo da ventilação mínima às condições relacionadas à cama aviária (Carvalho et al., 2011).

Por meio de um estudo de caso utilizando a técnica Delphi, que é um meio de agregar a opinião de uma série de especialistas, para melhorar a qualidade na tomada de decisão, os resultados mostraram que o uso da ventilação como forma de manter a cama aviária mais seca e diminuir a volatilização de amônia foi uma das medidas principais entre as melhores técnicas disponíveis para reduzir de forma geral as emissões de nitrogênio em instalações de produção de aves (Angus et al., 2003). Avaliando duas instalações similares, sendo que uma adotava sistema de ventilação positiva e a outra sem nenhum tipo de ventilação Vigoderis et al. (2010) observaram diminuição da temperatura do ar e redução de mais de 70% na concentração de amônia, na instalação sem ventilação a concentração média foi de 29 ppm e na instalação com ventilação foi de 23 ppm.

Associados ao sistema de ventilação podem ser adotados biofiltros e purificadores de ar. Nos sistemas de biofiltros ocorre um processo complexo de interações físicas, químicas e biológicas, o ar contaminado passa por uma coluna de biofilme onde ocorre difusão e biodegradação aeróbica para adsorção dos gases biodegradáveis e compostos voláteis, parte da amônia é retida por adsorção ao material da coluna, outra parte é absorvida por reações químicas e o restante é degradado por processo biológico de degradação, a amônia é oxidada a nitrito e o nitrito oxidado a nitrato (Baquerizo et al., 2005; Chen et al., 2005; Baquerizo et al., 2007; Baquerizo et al., 2009). Porém esses métodos só podem ser adaptados nas instalações com ventilação mecânica, a aplicação dessas técnicas pode reduzir de 80 a 90% as emissões (Brink et al., 2001).

### **Características da cama**

A cama aviária é todo e qualquer material distribuído sobre o piso servindo de leito aos animais e pode ser constituída por uma série de materiais distintos, tem função de evitar o contato direto do animal com o piso, aumentar a área de superfície do chão, proteger as aves do frio do piso, favorecer a absorção de umidade e incorporar fezes, urina, penas, descamações de pele e restos de alimentos (Carvalho et al., 2011; Ritz et al., 2005). A produção de frangos de corte em cama sobreposta é o método de criação padronizado mais comumente utilizado no Brasil e no mundo (Angus et al., 2006).

As características da cama, como por exemplo, o número de reutilizações, é responsável pelo aumento da produção de gases poluentes dentro das instalações de produção animal, de maneira que, tanto as concentrações como o potencial de emissão estão vinculados as condições física, química e biológica da cama (Nääs et al., 2007). Dessa forma o manejo da cama é determinante na taxa de emissão de amônia nas instalações de produção de frangos de corte, uma vez que ajustando corretamente o

conteúdo de umidade na cama é possível reduzir significativamente a produção de amônia (Abreu et al., 1998).

De acordo com o tipo de material de cama utilizado podem ocorrer variações no teor de amônia, foram observados menores teores de amônia em cama de pinus em relação a cama de grama, apesar de não haver diferença estatística na umidade dos dois tipos de cama estudados (Tomazelli et al., 2009). Entre os diversos tipos de cama estudadas por Carvalho et al. (2011) concluíram que os melhores resultados de qualidade em termos de pH e umidade foram encontrados nas camas de casca de café e arroz além de que os teores de amônia observados no ambiente com esses dois tipos de cama estiveram dentro dos limites ideais recomendados para a produção de frangos de corte, ou seja, abaixo de 20 ppm.

Em função das características climáticas do Brasil e de países de clima subtropical, normalmente são utilizados aviários abertos o que possibilita condições de reutilização da cama por diversos lotes, podendo chegar a 14 lotes consecutivos (Oliveira & Monteiro, 2013) essa reutilização pode causar aumento das emissões de amônia. Para não representar problemas, essa prática, que é muito utilizada em diferentes regiões do país, necessita de um tratamento para redução de riscos microbiológicos e dos teores de poluentes acumulados de um ciclo para outro (Ávila et al., 2008).

### **Uso de aditivos na cama aviária**

O uso de aditivos sobre a cama aviária é uma das soluções mais práticas por ser uma medida rápida e econômica que pode reduzir a volatilização de amônia nos galpões avícolas por meio de alteração nas condições de pH e umidade da cama (Simioni Jr. et al., 2009; Bordignon, 2013; Oliveira; Monteiro, 2013), além de inibição da atividade da urease, limitando a hidrólise da uréia (Gay & Knowlton, 2009; Ndegwa et al., 2008),

sendo o controle da umidade da cama determinante no sucesso da aplicação de aditivos (Lott & Donald, 2003).

O pH determina o equilíbrio entre amônio ( $\text{NH}_4$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) (Ndegwa et al., 2008). Com a alteração do pH, pela acidificação da cama, a emissão de amônia é reduzida, uma vez que o crescimento de microorganismos é prejudicado, dado ao meio de crescimento desfavorável, além de reduzir imediatamente a atividade das bactérias. Com pH abaixo de 7 a volatilização de amônia diminui, pois, os íons livres de  $\text{H}^+$  aumentam a proporção entre amônio:amônia, ou seja, mais amônia é convertida a amônio que é uma forma não volátil (França et al., 2014). Em pH em torno de 4,5 já não há evidência de nenhuma amônia livre mensurável (Ndegwa et al., 2008).

Existe efeito do pH sobre a quantidade e proporção de amônio e amônia formados, uma vez que na cama ácida a amônia é convertida a amônio, forma não volátil, assim como efeito do pH sobre a atividade microbiana na decomposição do ácido úrico em amônia que é extremamente importante para determinação da volatilização de amônia no ambiente (Gay & Knowlton, 2009). Os dois processos de formação de amônia, relação amônio:amônia e degradação do ácido úrico, mencionados são potencializados em pH na faixa de 7 e 10 conforme Figura 1(a e b).

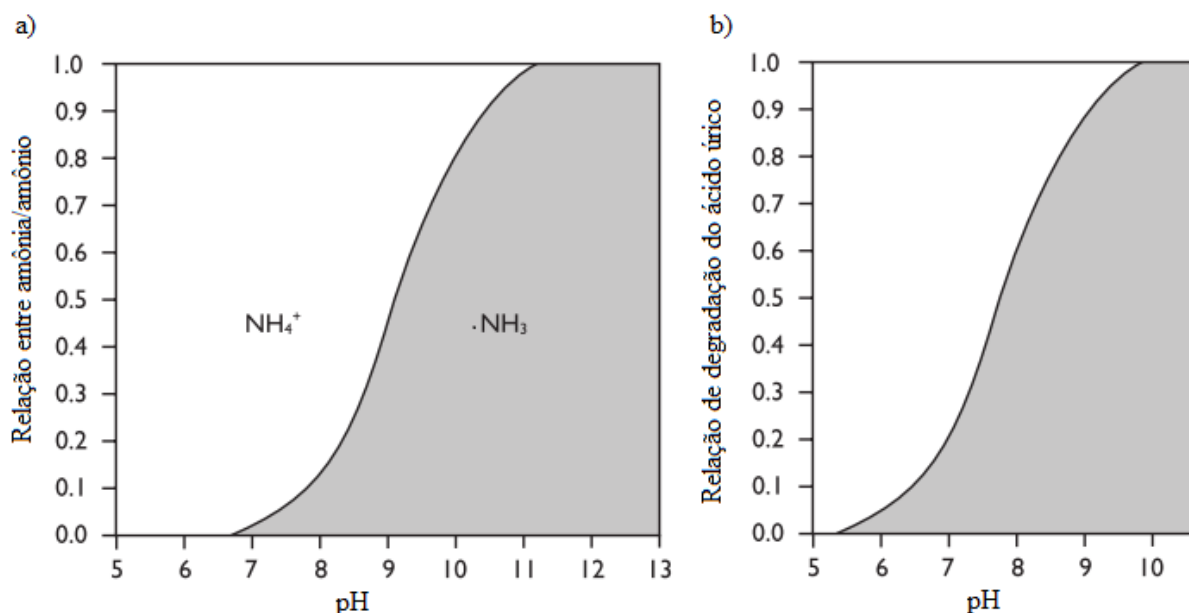
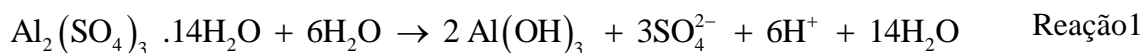


Figura 1. a) Relação amônio/amônia em função do pH. Adaptada de Gay; Knowlton (2009) e Ndegwa et al. (2008). b) Efeito do pH sobre a degradação do ácido úrico. Adaptada de Groot Koerkamp et al. (1998).

A enzima urease hidrolisa rapidamente tanto uréia quanto ácido úrico em amônio que rapidamente é convertido a amônia. A utilização de inibidores de enzimas, de uréases, aplicados na cama, bloqueia essa hidrólise e reduz a conversão da uréia e ácido úrico em amônio, o que torna essa técnica eficaz em diminuir a volatilização de amônia nos ambientes de produção animal (Bittman & Mikkelsen, 2009; Ndegwa et al., 2008).

O sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) é bastante efetivo para reduzir o pH da cama e, com isso, reduz exponencialmente a volatilização da amônia, principalmente nas quatro primeiras semanas do ciclo onde a renovação do ar é comprometida pela necessidade de aquecimento do ambiente (Oliveira et al., 2003). O sulfato de alumínio é capaz de reduzir significativamente o pH da cama pelo fato de que a dissociação de cada mol de sulfato de alumínio forma uma ácido com seis prótons livres (Moore Jr, et al., 2000) conforme Reação 1.



A aplicação de sulfato de alumínio mantém a concentração de amônia abaixo de 25 ppm nas primeiras semanas de criação dos animais, além de manter o ambiente saudável, livre de agentes patogênicos devido a sua elevada acidez, que proporciona redução significativa no pH da cama (Oliveira et al., 2004; Osório et al., 2009).

Outro aditivo utilizado normalmente para o tratamento da cama de frango, com finalidade de redução de emissão de amônia é o gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4$ ), que, por meio de reações químicas, aumenta a fixação do nitrogênio na forma de amônio ( $\text{NH}_4$ ) evitando com isso o aumento da volatilização ou concentração de amônia no ambiente (Oliveira et al., 2003), a Reação 2 mostra a fixação da amônia pela adição de gesso agrícola.



Menos utilizada a cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) melhora a qualidade da cama retendo o nitrogênio, porém por um período mais curto, tendo efeito por cerca de duas semanas, sendo necessário nova aplicação após esse período (Oliveira et al., 2003).

Reduções significativas da amônia volatilizada foram observadas quando ácido muriático ( $\text{HCl}$ ) e ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) são adicionados à cama aviária, sendo esses dois aditivos os que apresentaram resultados mais satisfatórios entre os diversos produtos químicos estudado (Silva et al., 2009).

### **Redução do teor de proteína nas dietas**

Alterações no teor de proteínas e aminoácidos na dieta dos animais podem afetar a concentração de amônia e as emissões desta nas instalações (Gates et al., 2008), pois

cerca de 55% do nitrogênio consumido na ração não é retido como proteína animal e sim excretado na cama (Silva et al., 2006). O monitoramento e a redução do teor de proteína bruta na dieta das aves com a suplementação de aminoácidos têm mostrado reduções nas perdas de amônia (Xin et al., 2004). O menor teor de nitrogênio possível de ser aplicado na ração irá reduzir a excreção de nitrogênio pelos animais (Jacob et al., 2000) e, conseqüentemente, as emissões de amônia no ambiente, sendo possível reduzir de 10 a 20% as emissões (Brink et al., 2001). Embora a excreção do nitrogênio fornecido nos alimentos não pode ser evitada, o controle cuidadoso dos teores de proteínas e aminoácidos na dieta pode ser utilizado para minimizar a quantidade de nitrogênio excretada nos dejetos (Gay & Knowlton, 2009). A melhoria na composição dos alimentos é considerada como uma das principais medidas para reduzir as emissões de amônia nas instalações de produção de frangos de corte (Groot Koerkamp et al., 1998; Ndegwa et al., 2008).

A redução no teor de nitrogênio da dieta dos frangos de corte pode ser feita por meio de alterações na composição da matéria prima da ração e utilização de aminoácidos sintéticos. Porém essas alterações são restritas já que a produtividade dos animais não pode ser afetada (Brink et al., 2001) apesar das diferentes eficiências obtidas com a redução do teor de nitrogênio nas dietas não é possível reduzir totalmente a emissão de amônia por essa prática (Osorio-Saraz et al., 2014).

## **CONCLUSÕES**

A amônia produzida nos ambientes de produção de frangos de corte gera diversos danos aos animais, humanos e ao meio ambiente. A principal fonte de amônia nos dejetos depositados na cama é o nitrogênio excretado. A adoção de técnicas adequadas de manejo do ambiente, por meio de ventilação adequada e de manejo da cama, pelo controle de pH, temperatura e umidade podem representar reduções significativas na

emissão de amônia, bem como a utilização de aditivos e acompanhamento do teor de nitrogênio que é fornecido nas rações.

## **AGRADECIMENTOS**

À Capes, Fapemig e CNPq.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NR15 Atividades e Operações Insalubres**. Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Rio de Janeiro, 1978. 114p.

ABREU, P.G.; BAÊTA, F.C.; ABREU, V.M.N.; SOARES, P.R.; PERDOMO, C.C.; SILVA, M.A. **Umidade da cama e teor de amônia em diferentes sistemas de aquecimento de frangos de corte**. CONFERÊNCIA APINCO, 98 de Ciência e Tecnologia Avícolas. **Anais...**: 1998.Campinas: FACTA - Fundação Apinco de Ciência e Tecnologias Avícolas, 1998.

ANGUS, A. J.; HODGE, I.D.; MCNALLY, S.; SUTTON, M. A. The setting of standards for agricultural nitrogen emissions: A case study of the Delphi technique. **Journal of Environmental Management**, v. 69 (2003): 323–337, 2003. DOI: 10.1016/j.jenvman.2003.09.006

ANGUS, A.J.; HODGE, I.D.; SUTTON, M.A. Ammonia abatement strategies in livestock production: A case study of a poultry installation. **Agricultural Systems**, v. 89 (1): 204–222, 2006. DOI: 10.1016/j.agsy.2005.09.003

ATIA, A. Ammonia Volatilization from Manure Application. **Agri-Facts**, v. 2008: 3–6, 2008.

ÁVILA, V.S.; OLIVEIRA, U.; FIGUEIREDO, E.A.P.; COSTA, C.A.F.; ABREU, V.M. N.; ROSA, P.S. Avaliação de materiais alternativos em substituição à maravalha como cama de aviário. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37 (2): 273-277, 2008.

BAQUERIZO, G., GAMISANS, X., GABRIEL, D., LAFUENTE, J. A dynamic model for ammonia abatement by gas-phase biofiltration including pH and leachate modelling. **Biosystems Engineering**, v. 97 (4): 431-440, 2007. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2007.03.031

BAQUERIZO, G., MAESTRE, J.P., MACHADO, V.C., GAMISANS, X., GABRIEL, D. Long-term ammonia removal in a coconut fiber-packed biofilter: Analysis of N fractionation and reactor performance under steady-state and transient conditions. **Water Research**, v. 43 (8): 2293-2301, 2009. DOI:10.1016/j.watres.2009.02.031

BAQUERIZO, G., MAESTRE, J.P., SAKUMA, T., DESHUSSES, M.A., GAMISANS, X., GABRIEL, D., LAFUENTE, J. A detailed model of a biofilter for ammonia removal: Model parameters analysis and model validation. **Chemical Engineering Journal**, v. 113 (2-3): 205-214, 2005. DOI:10.1016/j.cej.2005.03.003

BITTMAN, S.; MIKKELSEN, R. Ammonia Emissions from Agricultural Operations: Livestock. **Better Crops**, v. 93 (1): 28-31, 2009.

BORDIGNON, L.A.F. **Efeito de condicionadores químicos sobre a qualidade da cama de frango**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

BRINK, C.; KROEZE, C.; KLIMONT, Z. Ammonia abatement and its impact on emissions of nitrous oxide and methane in Europe - Part 1: Method. **Atmospheric Environment**, v. 35 (36): 6299-6312, 2001. DOI: 10.1016/S1352-2310(01)00434-4

CAFÉ, M.B.; ANDRADE, M.A. Intoxicações – Parte 2. In: **Avicultura industrial**. Ed 1091, 2001.

CARVALHO, T.M.R. DE; MOURA, D.J.; SOUZA, Z.M.; SOUZA, G.S.; BUENO, L.G. F. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46 (4): 351–361, 2011.

CHEN, Y.X., YIN, J., WANG, K.X. Long-term operation of biofilters for biological removal of ammonia. **Chemosphere**, v. 58 (8): 1023–1030, 2005. DOI:10.1016/j.chemosphere.2004.09.052

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Iowa. Iowa University Press. 1983. 410p. ISBN: 0-8138-0556-2

DONHAM, K. A historical overview of research on the hazards of dust in livestock buildings. In *Dust Control in Animal Production Facilities*, Proc. Congress in Aarhus. **Anais...**Horsens, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Bygholm. 2000.

FRANÇA, L.G.F.; TINÔCO, I. F.F.; MENDES, M.A. S.A.; COELHO, D.J. R. Caracterização de fatores que influenciam a emissão de amônia pelos dejetos de galinhas poedeiras e proposição de um score para o potencial máximo de emissão. XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Anais...**Campo Grande: CONBEA 2014, 2014.

FURLAN, R. L. Influência da temperatura na produção de frangos de corte. In: VII Simpósio Brasil Sul de Avicultura. **Anais...**Chapecó, SC – Brasil, p. 104–135, 2006.

GATES, R.S.; CASEY, K.D.; WHEELER, E.F.; XIN, H.; PESCATORE, A.J. U.S. broiler housing ammonia emissions inventory. **Atmospheric Environment**, v. 42 (14):

3342–3350, 2008. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.06.057

GAY, S.W.; KNOWLTON, K.F. Ammonia emissions and animal agriculture. **Virginia Cooperative Extension**, v. 442 (110): 1-5, 2009.

GROOT KOERKAMP, P.W.G.; METZ, J.H.M.; UENK, G.H.; PHILLIPS, V.R.; HOLDEN, M.; SNEATH, R.W.; SHORT, J.L.; WHITE, R.P.P.; HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; SCHRÖDER, M.; LINKERT, K.H.; PEDERSEN, S.; TAKAI, H.; JOHNSEN, J.O.; WATHES, C.M. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70 (1): 79–95, 1998. DOI: 10.1006/jaer.1998.0275

JACOB, J.P.; IBRAHIM, S.; BLAIR, R.; NAMKUNG, H.; PAIK, I.K. Using Enzyme Supplemented, Reduced Protein Diets to Decrease Nitrogen and Phosphorus Excretion of White Leghorn Hens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 13 (12): 1743–1749, 2000. DOI: 10.5713/ajas.2000.1743

JONES, E.K.M.; WATHES, C.M.; WEBSTER, A.J.F. Avoidance of atmospheric ammonia by domestic fowl and the effect of early experience. **Applied Animal Behaviour Science**, v.90 (3-4): 293-308, 2005.

LOTT, B.; DONALD, J. Amônia: Grandes perdas mesmo quando você não percebe. **Avicultura Industrial**. 2003. Disponível em: <<http://www.aviculturaindustrial.com.br/>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

MARÍN, O.L.Z. **Caracterização e avaliação do potencial fertilizante e poluente de distintas camas de frango submetidas a reusos sequenciais na zona da mata do estado de Minas Gerais**. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2011.

MENDES, L.B.; TINÔCO, I.F.F.; SOUZA, C.F.; SARAZ, J.A.O. O ciclo do nitrogênio na criação de frangos de corte e suas perdas na forma de amônia volátil: uma revisão. **Pubvet**, v. 6 (20): 1-25, 2012.

MILES, D.M.; BRANTON, S. L.;LOTT, B.D. Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. **Poultry science**, v. 83 (10): 1650–1654, 2004. DOI: 10.1093/ps/83.10.1650

MIRAGLIOTTA, M.Y. **Avaliação dos níveis de amônia em dois sistemas de produção de frangos de corte com ventilação e densidade diferenciados**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, 2000.

MIRAGLIOTTA, M.Y. **Avaliação das condições do ambiente interno em dois galpões de produção comercial de frangos de corte, com ventilação e densidade populacional diferenciados**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, 2005.

MISSELBROOK, T.H.; CHADWICK, D.R.; GILHESPY, S.L.; CLAMBERS, B.J.; SMITH, K. A.; WILLIAMS, J.; DRAGOSITS, U. Inventory of Ammonia Emissions from UK Agriculture. **DEFRA Contract AC0112**, v. 2010 (October): 1-34, 2010.

MOORE Jr., P.A.; DANIEL. T.C.; EDWARDS, D.R. Reducing phosphorus runoff and inhibiting ammonia loss from poultry manure with aluminum sulfate. **Journal of Environmental Quality**, v. 29 (1): 29-37, 2000.

NÄÄS, I.A.; MIRAGLIOTTA, M.Y.; BARACHO, M.S.; MOURA, D. J.; SALGADO, D.D. Qualidade da cama de frango em aviário convencional e em tipo túnel. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 1 (2): 103–115, 2007.

NDEGWA, P.M.; HRISTOV, A. N.; AROGO, J.; SHEFFIELD, R.E. A review of

- ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. **Biosystems Engineering**, v. 100 (4): 453-469, 2008. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.05.010
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Ministério do Meio Ambiente. **Ontario Air Standards for Ammonia**. v. 1988: 1-47. 2001.
- OLIVEIRA, M.C.; ALMEIDA, C.V.; ANDRADE, D.O.; RODRIGUES, S.M.M. Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32 (4): 951–954, 2003. DOI: 10.1590/S1516-35982003000400022
- OLIVEIRA, P.A. V.; MONTEIRO, A.N.T.R. Emissão de amônia na produção de frangos de corte (FACTA, Ed.) CONFERÊNCIA FACTA. **Anais...Campinas: CONFERÊNCIA FACTA**, 2013.
- OLIVEIRA, M.C.; FERREIRA, H.A.; CANCHERINI, L.C. Efeito de condicionadores químicos sobre a qualidade da cama de frango. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 56 (4): 536–541, 2004. DOI: 10.1590/S0102-09352004000400016
- OSÓRIO, J.A.; TINÔCO, I.F.; CIRO, H.J. Ammonia : a review of concentration and emission models in livestock structures. **Dyna**, v. 76 (158): 89–99, 2009.
- OSORIO-SARAZ, J.A.; FERREIRA-TINOCO, I. F.; GATES, R.S.; OLIVEIRA-ROCHA, K.S.; COMBATT-CABALLERO, E.M.; CAMPOS-DE-SOUSA, F. Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. **Dyna**, v. 81 (187): 137–143, 2014. DOI: 10.15446/dyna.v81n187.40806

OVIEDO-RONDÓN, E.O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37 (Supl. Esp.): 239–252, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008001300028

OWADA, A. N.; NÃÃS, I. A.; MOURA, I. J.; BARACHO, M. S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 27 (3): 611-618, 2007.

PERRY, G. C. Welfare of the Laying Hen. **World's Poultry Science Association**, Bristol, v. 27 – 431p, 2003.

RITZ, C.W.; FAIRCHILD, B.D.; LACY, M.P. Litter Quality and Broiler Performance. **Cooperative Extension Service / The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences**, Bulletin 1 (April): 1-1267, 2005.

SILVA, A.N.; ROCHA, F.T.; MATOSO, S.C.G.; MIGLIORANZA, F.J.; CRUZ, C.V.; BIANCHINI, E.; ROCHA, Y.H.; NETO, A. C. F.; FERREIRA, E. Uso de diferentes produtos químicos para controle da volatilização de amônia em cama de frangos. ZOOTEC 2009. **Anais...** Aguas de Lindóia - SP: Anais Associação Brasileira de Zootecnistas, 2009.

SILVA, Y.L.; RODRIGUES, P.B.; FREITAS, R.T.F.; BERTECHINI, A.G.; FIALHO, E.T.; FASSANI, É. J.; PEREIRA, C.R. Redução de proteína e fósforo em rações com fitase para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade . Desempenho e teores de minerais na cama. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35 (3): 840–848, 2006. DOI: 10.1590/S1516-35982006000300029

SIMIONI JR, J.R.; HOMMA, S.K.; GOMES, J.D.F.; PREDOSA, V.B.; XAVIER, J.K. & CHAGAS, P.R.R. Efeito da aplicação de diferentes aditivos na cama. Emissão de Gases Associados à Produção Animal e ao Manejo de Dejetos. **Anais...** Florianópolis -

SC: SIGERA - I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Animais, 2009.

TINÔCO, I. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3 (1): 1-24, 2001.

TOMAZELLI, I.L.; ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N.; FRANCISCON, L.; CESTONARO, T.; HASSEMER, M.J.; DALLA COSTA, C.A. Teor de amônia e condições ambientais de diferentes materiais de cama de frango. (FACTA Ed.) CONFERÊNCIA FACTA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS. **Anais...** Porto Alegre: Anais dos trabalhos de pesquisa José Maria Lamas de Silva, 2009.

VIGODERIS, R.B.; CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I. F. F; MENEGALI, I.; SOUZA, J. P.; HOLANDA, M.C.R. Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39 (6): 1381–1386, 2010.

WATHES, C. M.; HOLDEN, M. R.; SNEATH, R. W.; WHITE, R. P.; PHILLIPS, V. R. Concentrations and emissions rates of aerial ammonia, nitrous-oxide, carbon-dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. **British Poultry Science**, v. 38 (1): 14-28, 1997.

XIN, H.; LIANG, Y.; GATES, R.S.; WHEELER, E.F. Ammonia Emission from Iowa Layer Houses. Midwest Poultry Federation Convention. **Anais...** St. Paul, MN: 2004.

## **ARTIGO IV**

### **ZONEAMENTO PRODUTIVO E CLIMÁTICO DA AVICULTURA DE CORTE DO BRASIL**

*Artigo a ser submetido após as correções e sugestões da banca.*  
Formatado segundo as normas da revista “Engenharia Agrícola” ISSN 1809-4430

## **ZONEAMENTO PRODUTIVO E CLIMÁTICO DA AVICULTURA DE CORTE DO BRASIL**

**RESUMO:** Objetivou-se com esse trabalho, realizar o zoneamento espacial das indústrias de produção de frangos de corte, bem como fazer o mapeamento das condições ambientais de temperatura do ar, de maneira a possibilitar a avaliação da situação climática da avicultura de corte do país, estabelecendo os valores máximos de temperatura do ar que potencializam condições de emissão de amônia nas instalações. Diante dos dados obtidos e pelo zoneamento espacial e produtivo do alojamento dos frangos de corte no Brasil, pode-se dizer que a avicultura de corte é uma atividade presente em toda a extensão do país, concentrando-se, principalmente, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Pelo mapeamento climático do Brasil, dentre as principais regiões produtoras de frangos de corte, observou-se que a região Sul é caracterizada por temperaturas mais amenas, com médias mínimas que variam entre -5,0 e 16 °C. Na região Centro-Oeste predominam temperaturas mais elevadas. E a região Sudeste apresenta temperaturas intermediárias com médias que variam entre 18 e 27 °C. As médias das temperaturas máximas variam entre 34 e 40 °C.

**Palavras-chave:** avicultura industrial brasileira, produção animal, qualidade do ar

## **PRODUCTIVE AND CLIMATIC ZONING OF THE BRAZIL'S POULTRY INDUSTRY**

**ABSTRACT:** The objective with this study was to perform the spatial zoning of the broilers production industries, as well as the mapping of the environmental conditions of air temperature, in order to allow the evaluation of the climatic situation of the country's poultry farming, establishing the values maximum air temperatures that

enhance ammonia emission conditions in facilities. Considering the data obtained and the spatial and productive zoning of broilers housing in Brazil, it can be said that the poultry industry is an activity present throughout the country, concentrating mainly in the South, Southeast and Central West. Due to the climatic mapping of Brazil, among the main regions producing broiler chickens, it was observed that the southern region is characterized by milder temperatures, with minimum averages ranging from -5.0 to 16 °C. In the Central-West region, higher temperatures predominate. And the Southeast has intermediate temperatures, with averages ranging between 18 and 27 °C. The mean maximum temperatures range between 34 and 40 °C.

**Keywords:** animal production, air quality, Brazilian poultry industry

## INTRODUÇÃO

A avicultura de corte brasileira tem importante representação no cenário mundial de produção de carnes, uma vez que o Brasil é o segundo maior produtor de carne de frango, com um plantel de mais de um bilhão de cabeças de frangos de corte (IBGE, 2016). Mantém há mais de uma década a posição de maior exportador do mundo, embarcando para mais de 150 países (ABPA 2017). Em 2015, a produção superou 13,14 milhões de toneladas e, com esse total, a produção de carne de frango passou a assumir o segundo lugar mundial, consolidando este produto como o quarto item da pauta exportadora nacional (ABPA 2016).

Por apresentar um clima, na maior parte territorial, tropical e subtropical com pequena amplitude térmica ao longo do ano, as condições climáticas do Brasil permitem a produção frangos de corte em aviários abertos (Tinôco 2001). E, por isso, os elementos climáticos externos influenciam significativamente o ambiente interno das instalações. Neste sentido, vale ressaltar que os fatores ambientais repercutem fortemente sobre os índices de produção de frangos de corte, pois os frangos que são

animais homeotérmicos dependem de faixas de temperatura adequadas para expressar seu máximo potencial produtivo (Cassuce et al. 2013). No Brasil, os principais desafios da ambiência na avicultura são relacionados aos elevados valores de temperatura e umidade relativa do ar (Neves et al. 2010).

Outro fator relevante, diz respeito a qualidade do ar do ambiente de criação animal, sendo a temperatura e umidade do ar fatores determinantes no potencial de geração de amônia nas instalações e influenciam, significativamente, na taxa de emissão desse gás, por afetarem a temperatura e a umidade da cama, potencializando assim a atividade microbiana nos dejetos (Manno et al. 2011; França & Tinôco 2014).

A amônia é um dos poluentes aéreos mais frequentemente encontrado em altas concentrações nos aviários (Owada et al. 2007) por ser um subproduto comum dos resíduos animais, principalmente quando são administradas formulações com excesso de nitrogênio para suprir as necessidades nutricionais por proteínas. Porém, devido à conversão alimentar, parte desse nitrogênio, cerca de 55%, não é metabolizado em proteína animal (Silva et al. 2006), vindo a ser excretado nos dejetos sobre a forma de ácido úrico que quando degradado nos processos de decomposição microbiana dos dejetos libera amônio. Sob determinadas condições de temperatura, umidade e pH dos dejetos, o amônio é rapidamente convertido em amônia volatilizada para o ambiente (França et al. 2014).

Devido a formação de material particulado e pela deposição descontrolada de diferentes formas de nitrogênio, que podem ter consequências negativas para o ar, solo e água, a amônia nos aviários tornou-se uma preocupação ambiental (Bittman & Mikkelsen 2009). Além de ser uma das maiores preocupações da indústria avícola por afetar o desempenho dos animais e os custos de produção ao causar impactos na saúde dos animais e agricultores (Hsu et al. 1998).

Nesse sentido entende-se que por meio do zoneamento da produção de frangos de corte do Brasil torna-se possível localizar e quantificar a produção de dejetos de cada uma dessas regiões. E a partir do mapeamento das condições ambientais pode-se identificar as regiões com máximos potenciais para geração e emissão de amônia, pela ocorrência dos valores máximos de temperatura do ar nas principais regiões produtoras de frangos de corte no Brasil (França et al. 2014).

Com base no exposto, objetivou-se com esse estudo realizar o zoneamento espacial e produtivo da avicultura de corte do Brasil e o mapeamento das condições climáticas de temperatura do ar do território brasileiro, para assim determinar as principais regiões produtoras de frangos de corte no Brasil e as condições de temperaturas do ar que ocorrem no país.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O levantamento espacial e produtivo (zoneamento) de frangos de corte registrados no Brasil foi realizado junto ao banco de dados disponibilizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A produção de frangos de corte no Brasil foi quantificada com base no efetivo do rebanho em cabeças de pintos de corte alojados nos municípios, registrados na base de dados do IBGE durante o último levantamento realizado, ocorrido no ano de 2015. Os dados foram adquiridos junto ao banco de dados agregados do SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática.

A partir dos dados obtidos foram gerados mapas para determinar a localização da produção de frangos de corte no Brasil. Foram considerados os municípios com efetivo de rebanho igual ou superior a 25.000 cabeças de frangos de corte, registrados na data da aquisição dos dados para a pesquisa do IBGE, dia 31 de dezembro de 2015.

Com a utilização do programa CIAS - Central de Inteligência de Aves e Suínos, disponibilizado e desenvolvido pela EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Suínos e Aves de Concórdia, vinculada ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, foi possível desenvolver os mapas. E a partir deles definir as principais regiões produtoras de frangos de corte no Brasil a partir da quantificação do rebanho em cabeças de frangos de corte alojados nas distintas regiões do país.

Os dados de temperatura do ar foram obtidos das últimas normais climatológicas disponíveis dos últimos 30 anos, entre os anos de 1961 e 1990, pela rede de estações meteorológicas do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (Ramos et al. 2009). Procedeu-se a interpolação desses dados, utilizando o interpolador IDW do MapInfo Professional, versão 10.0, e foram gerados mapas de valores de temperaturas máximas, mínimas e médias, que ocorreram no Brasil.

Pelos mapas de temperaturas máximas, médias e mínimas do Brasil foi feita a classificação climática das principais regiões produtoras de frangos de corte do país, subdivididas em três grupos climáticos: regiões avícolas de elevadas temperaturas; de temperaturas médias e de baixas temperaturas. Com os mapas foram determinados os intervalos de temperaturas máximas, médias e mínimas que ocorrem no Brasil.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Zoneamento da produção de frangos de corte no Brasil**

Após o levantamento dos dados junto ao banco de dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de todo o rebanho efetivo de frangos de corte, para o ano de 2015, foram selecionados os locais com alojamento igual ou superior a 25.000 cabeças, individualizou-se a produção por microrregião, composta pelos principais municípios onde os aviários estavam situados. Na Tabela 1 encontra-se apresentado o

efetivo do rebanho de frangos de corte distribuídos nas Unidades da Federação, com a respectiva percentagem em relação ao total alojado no Brasil.

Tabela 1. Alojamento de frangos de corte no Brasil em 2015

Unidade da Federação	Efetivo dos rebanhos (Cabeças)	Efetivo dos rebanhos (%)
Paraná	277496958	20,83
São Paulo	163890322	12,30
Santa Catarina	146831045	11,02
Rio Grande do Sul	124650363	9,36
Minas Gerais	104437631	7,84
Goiás	57109914	4,29
Mato Grosso	35201361	2,64
Bahia	24712812	1,86
Mato Grosso do Sul	22122239	1,66
Pernambuco	20502802	1,54
Ceará	19078668	1,43
Pará	16718230	1,26
Rio de Janeiro	16503669	1,24
Espírito Santo	16455912	1,24
Distrito Federal	9720078	0,73
Tocantins	8248438	0,62
Paraíba	8224618	0,62
Piauí	7659534	0,58
Maranhão	6594530	0,50
Sergipe	6139023	0,46
Alagoas	5177771	0,39
Rio Grande do Norte	2214477	0,17
Acre	1836580	0,14
Rondônia	1512443	0,11
Amazonas	1030502	0,08
Roraima	181263	0,01
Amapá	51758	0,00
<b>Total</b>	<b>1332078050</b>	<b>100</b>

Fonte: IBGE (2016).

O alojamento de frangos de corte total no Brasil, em 2015, foi composto pela soma total de cabeças de frangos de corte alojados em todos os municípios registrados no banco de dados do IBGE, correspondendo a um total de 1.332.078.050 cabeças.

Para o zoneamento espacial da produção de frangos de corte no Brasil, foi realizada a distribuição espacial do alojamento nas microrregiões do país. Na Figura 1, está apresentado o mapa elaborado com os dados do IBGE, junto ao programa CIAS

(Central de Informação de Aves e Suínos), disponibilizado pela Embrapa. No mapa quanto mais escura a tonalidade da cor cinza no mapa, maior a quantidade de cabeças de frangos de corte alojadas na respectiva microrregião.

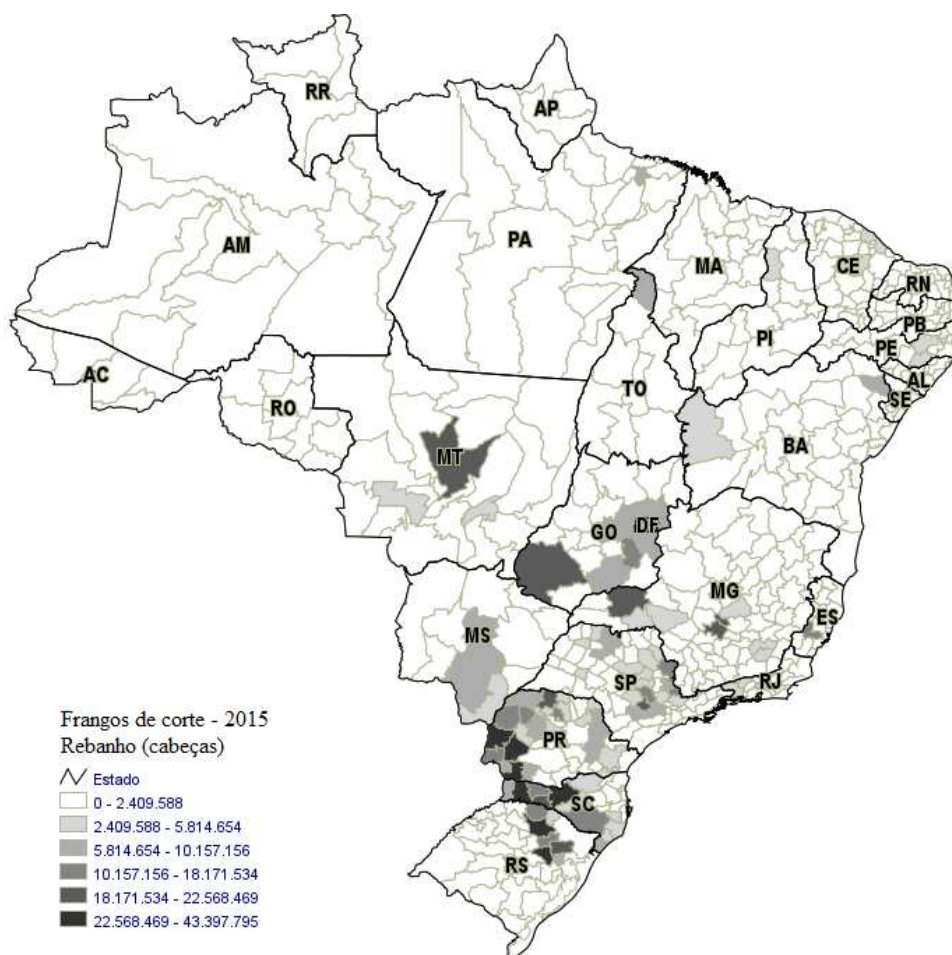


Figura 1. Distribuição espacial quantitativa da produção de frangos de corte nas distintas microrregiões do Brasil, com o total em cabeças alojadas, em 2015. Fonte dos dados: IBGE (2016).

Observa-se, pela Figura 1, que o alojamento de frangos de corte no Brasil está distribuído em praticamente toda a extensão territorial do país, mas concentra-se principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, que detém, tanto maior quantidade de núcleos com alojamento, quanto maiores quantidades de cabeças alojadas por núcleo.

As principais regiões produtoras de frangos de corte no Brasil foram determinadas pela distribuição espacial do alojamento de frangos de corte, por regiões do Brasil. São

apresentadas na Figura 2 onde encontra-se o mapa representativo da quantidade de frangos de corte alojados nas principais regiões. Ambos elaborados a partir do banco de dados do IBGE para o ano de 2015.

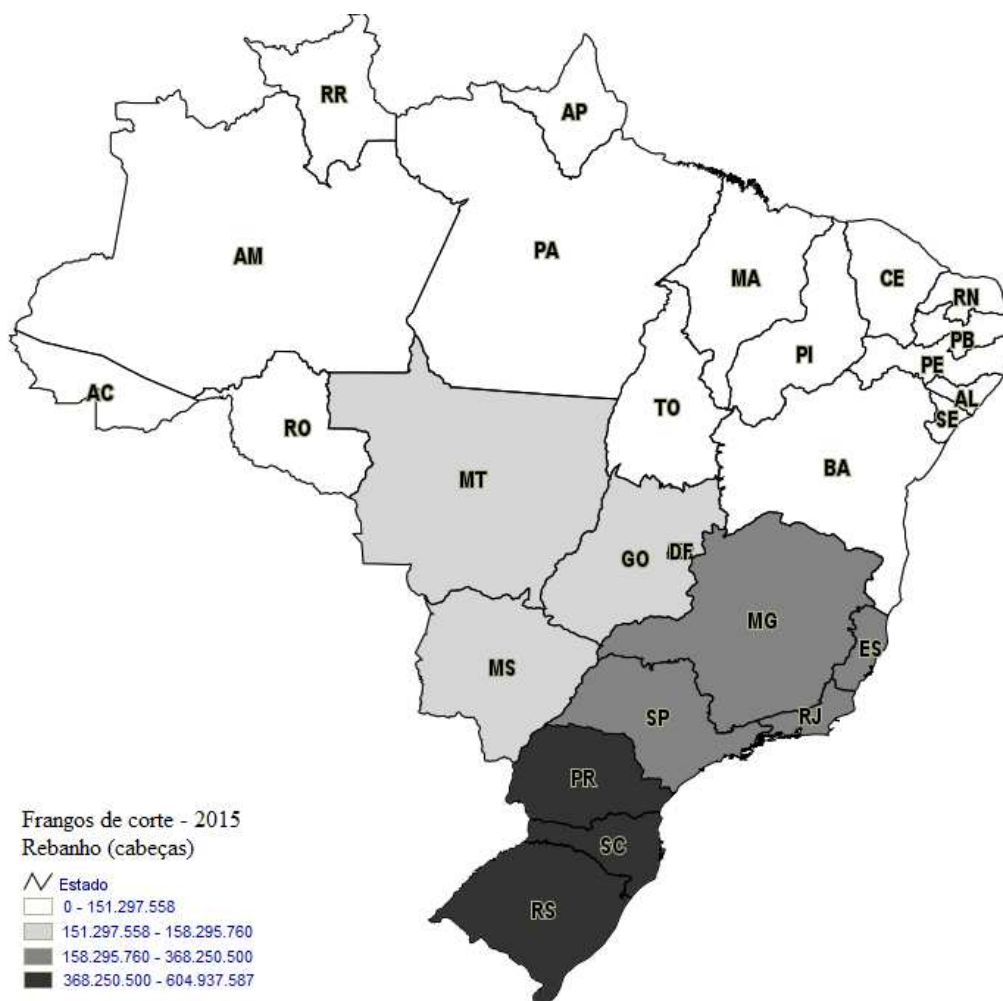


Figura 2. Distribuição espacial, por regiões, do rebanho de frangos de corte alojados no Brasil em 2015. Fonte: IBGE (2016).

### Produção de cama aviária no Brasil

Por meio da representação gráfica na Figura 2, pode-se dizer, além do que já foi observado anteriormente, que a produção de frangos de corte concentra-se, principalmente, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, seguida da região Centro-Oeste. Essa distribuição confirma que a avicultura brasileira cumpre seu papel sustentável ao

manter sua produção concentrada nas regiões fora do bioma amazônico (UBABEF, 2014).

Outro fator que explica a concentração da produção de frangos de corte, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, é a localização da produção de grãos no país, principalmente milho e soja, que são os principais insumos para as rações utilizadas na alimentação dos frangos de corte e que estão concentradas nessas mesmas regiões. Segundo dados da CONAB (2017), entre as grandes regiões do Brasil, o volume da produção de cereais, leguminosas e oleaginosas apresenta a seguinte distribuição: Centro-Oeste, 89,9 milhões de toneladas; Sul, 76,0 milhões de toneladas; Sudeste, 19,3 milhões de toneladas; Nordeste, 16,6 milhões de toneladas e Norte, 7,7 milhões de toneladas. Nessa avaliação para 2015, o Mato Grosso liderou como maior produtor nacional de grãos, com uma participação de 24,9 %, seguido pelo Paraná (18,0 %) e Rio Grande do Sul (15,2 %), que somados representaram 58,1 % do total nacional previsto.

Diversos estudos já foram realizados para determinar a produção de cama aviária por frango de corte durante o ciclo de criação, entretanto os resultados diferem entre si. Ortolani e Brito (2001) determinaram o valor de 2,6 kg de cama por ave, Santos e Lucas Jr. (2003) e Santos et al. (2005) citaram o valor de 1,75 kg/ave, enquanto que Bellaver e Palhares (2003) chegaram a um valor menor e concluíram ser gerado 1,3 kg de cama por ave.

Considerando-se o valor mais atual e intermediário para a produção média de cama, de 1,75 kg por frango de corte, e o total de 1,332 bilhões de cabeças de frangos de corte alojados no Brasil em 2015, estima-se que a produção de cama aviária no citado ano tenha sido, aproximadamente, 2,33 bilhões de kg. Desse total, a região Sul do Brasil, com 604.937.587 cabeças de frangos de corte, produziu cerca de 1,06 bilhão de kg de cama. A região Sudeste, com 368.250.500 cabeças, produziu mais de 644 milhões

de kg de cama. E a região Centro-Oeste, com 151.297.558 cabeças de frango, produziu mais de 264 milhões de kg de cama aviária.

### Mapeamento da Temperatura do Ar no Brasil

Na Figura 3 encontra-se apresentado o mapa elaborado a partir dos valores médios mensais máximos de temperatura do ar observados no Brasil, entre 1961 e 1990, segundo as últimas normais climatológicas disponíveis.

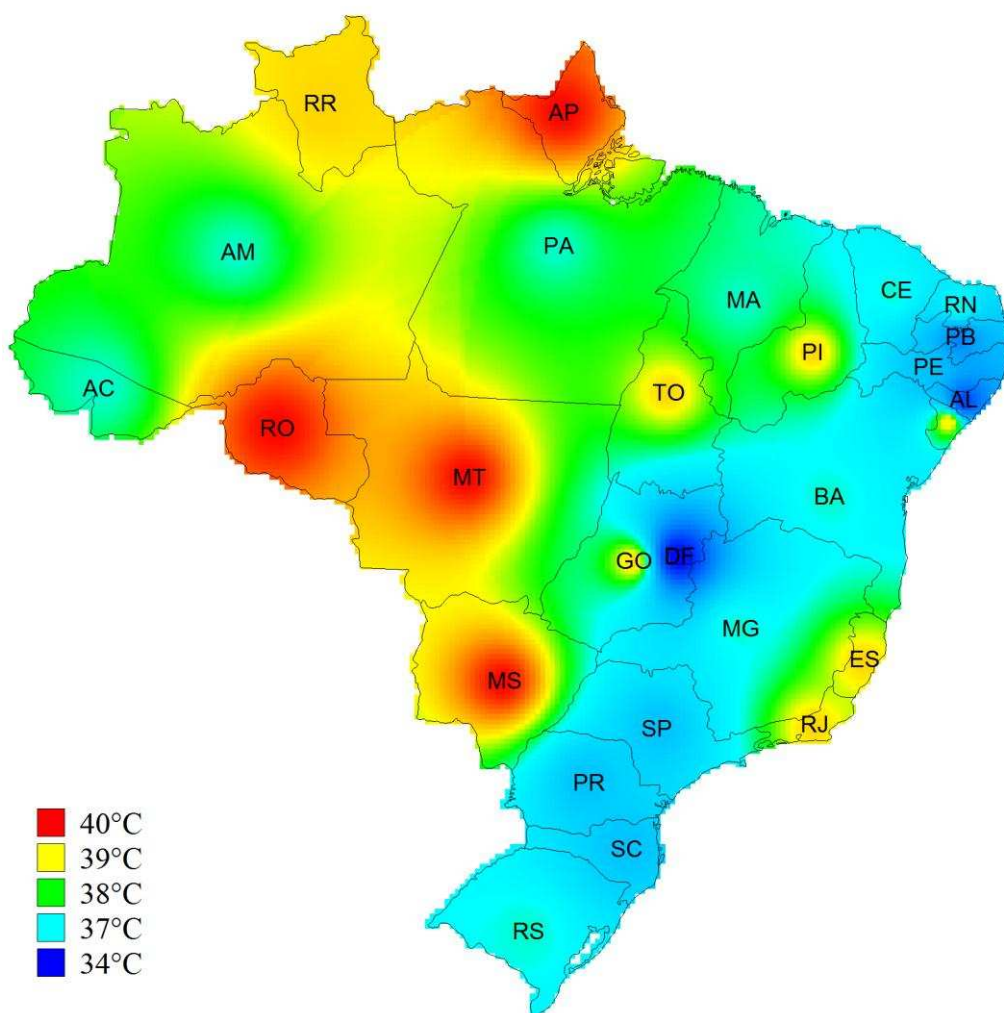


Figura 3. Distribuição espacial da temperatura do ar máxima média para o Brasil. Fonte dos dados: INMET (2009).

Observa-se, pela Figura 3, que as máximas temperaturas do ar variam entre 34 e 40 °C. Destacando-se, desse mapa, somente as três principais regiões produtoras de frangos de corte: Centro-Oeste, Sul e Sudeste, observa-se que os maiores valores de temperaturas médias máximas ocorrem na região Centro-Oeste e em partes da região Sudeste.

A Figura 4 corresponde ao mapa das temperaturas mínimas médias para o Brasil entre os anos de 1961 e 1990.

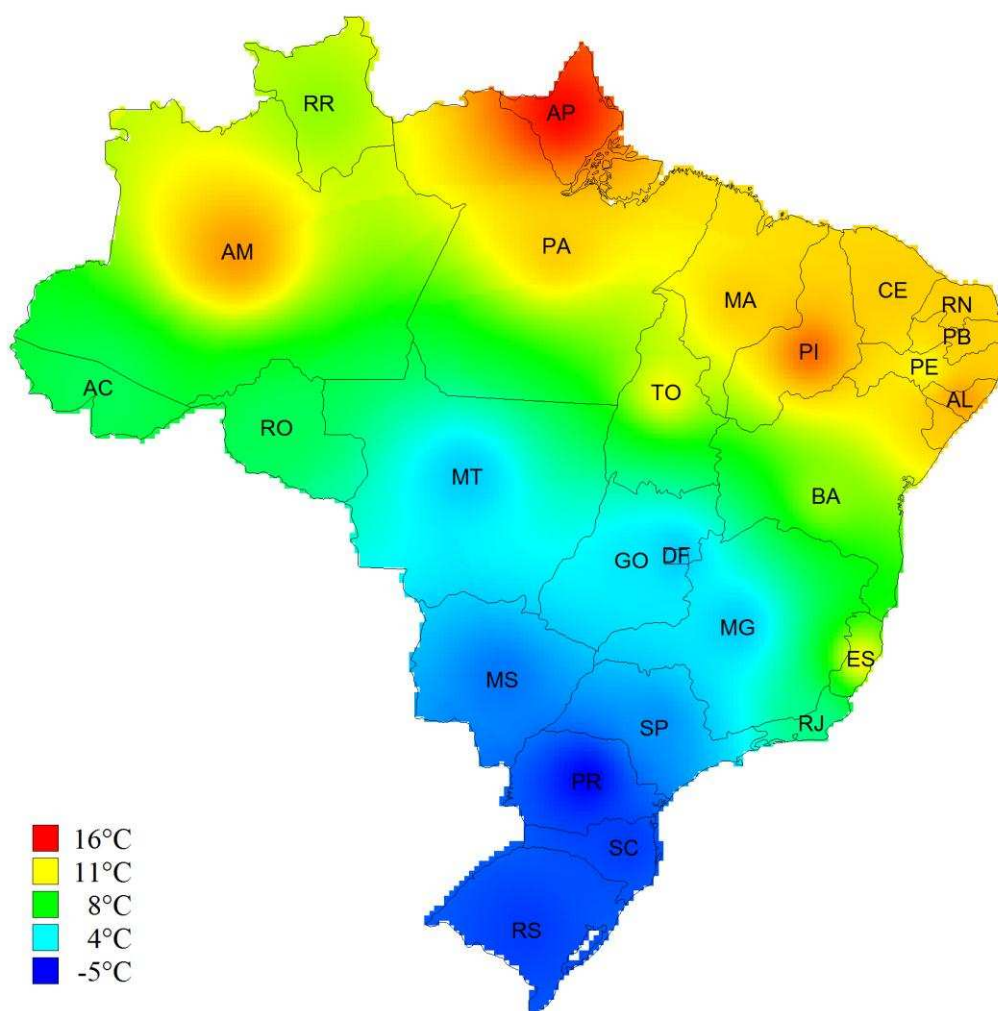


Figura 4. Distribuição espacial da temperatura do ar mínima média para o Brasil. Fonte dos dados: INMET (2009).

Pelo mapa das temperaturas mínimas (Figura 4), observa-se que a temperatura mínima no Brasil varia entre -5 e 16 °C. Entre as três principais regiões produtoras de frangos de corte (Centro Oeste, Sul e Sudeste), observa-se que na região Sul encontram-se os menores valores de temperatura média mínima do ar, predominando o valor na faixa de -5 °C. Ao avaliar o efeito da temperatura sobre a degradação do ácido úrico nos dejetos, Groot Koerkamp et al. (1998) observaram que, em temperaturas inferiores a 10 °C a atividade microbiana para degradação do ácido úrico é praticamente inexistente, assim não ocorre decomposição da ureia e, conseqüentemente, não há formação de amônio que pode ser convertido em amônia. De acordo com estudos de Hsu et al. (1998), ambientes com temperaturas mais baixas tendem a favorecer o aproveitamento do nitrogênio da ração pelos animais e, assim, diminuir a sua taxa de excreção o que, conseqüentemente, diminui a concentração de amônia nos ambientes de produção animal.

Na Figura 5 encontra-se apresentado o mapa das temperaturas médias para os Estados do Brasil entre os anos de 1961 e 1990.

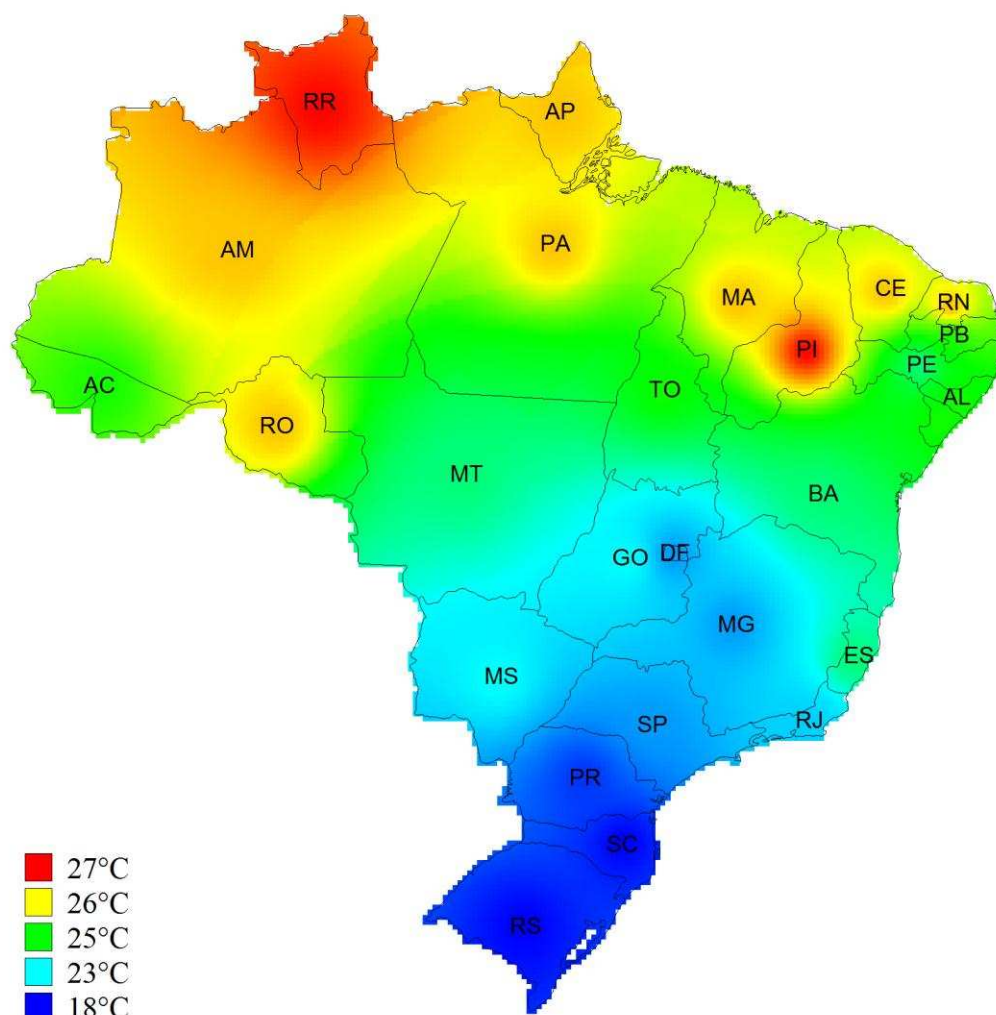


Figura 5. Distribuição espacial da temperatura do ar média para o Brasil. Fonte dos dados: INMET (2009).

Pelo mapa das temperaturas médias (Figura 5), observa-se que a temperatura média ao longo de toda a extensão do Brasil varia entre 18 e 27 °C. Conforme ocorreu com o gráfico da temperatura máxima, observa-se que entre as três principais regiões produtoras de frangos de corte, na região Centro-Oeste, predominam também os maiores valores de temperatura média do ar, seguida pela região Sudeste e Sul, onde estão os menores valores de temperaturas médias.

Analisando os mapas gerados nas Figuras 3, 4 e 5, com os dados médios de temperaturas: máxima, média e mínima do Brasil é possível classificar as três principais

regiões produtoras de frangos de corte (Figura 2) de acordo com as temperaturas predominantes nessas regiões. Sendo assim, a região Sul pode ser classificada como região avícola de baixas temperaturas, a região Sudeste, região avícola de temperaturas médias e a região Centro-Oeste, região avícola de elevadas temperaturas.

As temperaturas máximas médias do ar que ocorrem no Brasil variam entre 34 e 40°C. De acordo com França e Tinôco (2014), a temperatura no interior das instalações de produção animal normalmente é, em média, 3°C superior à temperatura do ambiente externo, observada nos abrigos meteorológicos. Considerando a faixa de temperaturas máximas médias no Brasil, apresentada na Figura 5, verifica-se que as temperaturas no interior das instalações no país podem atingir valores médios máximos entre 37 e 43 °C. Valores esses considerados extremos, causadores de estresse térmico, pois ultrapassam a faixa de temperatura adequada ao conforto das aves até mesmo durante a sua primeira semana de vida, quando a faixa considerada ideal, segundo Cassuce et al. (2013), é entre 32 e 34 °C. Na fase adulta, este desconforto torna-se muito mais agravado.

## **CONCLUSÕES**

A produção de frangos de corte está presente em praticamente toda a extensão territorial do Brasil, concentrando-se principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A região Sul tem o maior efetivo de rebanho em cabeças de frangos de corte alojados, seguida pela Região Sudeste e Centro-Oeste.

De acordo com o mapeamento da temperatura do ar e do alojamento de frangos de corte no Brasil, as principais regiões produtoras de frangos de corte do país podem ser classificadas como: região Centro-Oeste de elevadas temperaturas, região Sudeste de médias temperaturas e região Sul de baixas temperaturas.

## **AGRADECIMENTOS**

À Capes, Fapemig e CNPq.

## **REFERÊNCIAS**

ABPA (2017) Relatório Anual da ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal 134.

ABPA (2016) Relatório Anual 2016.

Bellaver C, Palhares CP (2003) Uma visão sustentável sobre a utilização da cama de aviário. *Avicultura industrial* 1113:14–18.

Bittman S, Mikkelsen R (2009) Ammonia Emissions from Agricultural Operations: Livestock. *Better Crops* 93:28–31.

Cassuce DC, Tinôco I de FF, Baêta FC, Zolnier S, Cecon PR, Vieira MFA (2013) Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. *Engenharia Agrícola* 33:28–36.

CONAB (2017) Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2016/17 - Quarto levantamento. 4:1–160.

França LGF, Tinôco IFF (2014) Caracterização de fatores ambientais e zoneamento da produção de ovos no estado de Minas Gerais. In: 2014 C (ed) XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014. CONBEA 2014, Campo Grande, pp 27–30

França LGF, Tinôco IFF, Mendes MASA, Coelho DJR (2014) Caracterização de fatores que influenciam a emissão de amônia pelos dejetos de galinhas poedeiras e proposição de um score para o potencial máximo de emissão. In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. CONBEA 2014, Campo Grande, p 4

- Groot Koerkamp PWG, Metz JHM, Uenk GH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL (1998) Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70:79–95. doi: 10.1006/jaer.1998.0275
- Hsu J-C, Lin C-Y, Chiou PW-S (1998) Effects of ambient temperature and methionine supplementation of a low protein diet on the performance of laying hens. *Animal Feed Science and Technology* 74:289–299. doi: 10.1016/S0377-8401(98)00185-0
- IBGE (2015) Indicadores IBGE: Estatísticas da Produção Pecuária, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 49p.
- INMET (2009) Normais climatológicas do Brasil 1961-1990, INMET. Brasília, DF. 465p.
- Manno MC, Lima KRDS, Aguilar CAL, Souza NSS, Barata ZRP, Viana MAO (2011) Produção de amônia no interior de galpões avícolas com modificações ambientais. *Revista de Ciências Agrárias* 54:159–164. doi: 10.4322/rca.2012.010
- Neves DP, Nääs IA, Baracho MS (2010) Ambiente de alojamento e equipamentos de alimentação na avicultura industrial brasileira - Uma revisão. *BioEng* 4:1–11.
- Ortolani EL, Brito LAB (2001) Enfermidades Causadas pelo Uso Inadequado de “Cama-de-Frango” na Alimentação de Ruminantes.
- Owada AN, Nääs IA, Moura DJ, Baracho MDS (2007) Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. *Engenharia Agrícola* 27:611–618.
- Ramos AM, Santos LAR, Fortes LTG (2009) Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília, DF
- Santos TMB, Lucas Jr. J (2003) Utilização de resíduos da avicultura de corte para a

produção de energia. In: ZOOTEC'2003; Congresso Internacional de Zootecnia; Congresso Nacional de Zootecnia. Uberaba-MG, Brasil, pp 131–141

Santos TMB, Jr. JL, Sakomura NK (2005) Efeitos de densidade populacional e da reutilização da cama sobre o desempenho de frangos de corte e produção de cama a. *Effects of broiler stocking density and poultry litter reuse in broiler performance and poultry litter production a. Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias* 100:45–52.

Silva YL, Rodrigues PB, Freitas RTF, Bertechini AG, Fialho ET, Fassani EJ, Pereira CR (2006) Redução de proteína e fósforo em rações com fitase para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade . Desempenho e teores de minerais na cama. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35:840–848.

Tinôco I (2001) Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 3:1–24. doi: 10.1590/S1516-635X2001000100001

**ARTIGO V**

**DIAGNOSIS OF AIR QUALITY IN BROILERS PRODUCTION FACILITIES  
IN HOT CLIMATES**

*Artigo aceito para publicação na Revista “Agronomy Research” ISSN 1406-894X*

# Diagnosis of air quality in broilers production facilities in hot climates

F.C. Sousa<sup>1,\*</sup>, I.F.F. Tinôco<sup>1</sup>, M. Barbari<sup>2,\*</sup>, F. Baptista<sup>3</sup>, C.F. Souza<sup>1</sup>, J.A.O. Saraz<sup>4</sup>,  
D.J.R. Coelho<sup>1</sup> and A.L. Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Department of Agricultural Engineering, Av. Peter Henry Rolfs, Campus University of Viçosa, 30570-000 Viçosa, MG, Brazil

<sup>2</sup>Università degli Studi di Firenze, Department of Agricultural, Food and Forestry Systems (GESAAF), Via San Bonaventura 13, 50145 Firenze, Italy

<sup>3</sup>Universidade de Évora, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), Apartado 94, 7006-554 Évora, Portugal

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Colombia, Faculty of Agricultural Sciences, Calle 59 A N 63, 400-03 Medellín, Colombia

<sup>5</sup>Universidade Federal de Viçosa, Department of Animal Science, Av. Peter Henry Rolfs, Campus University of Viçosa, 30570-000 Viçosa, MG, Brazil

\*Correspondence: [matteo.barbari@unifi.it](mailto:matteo.barbari@unifi.it); [fernanda.sousa@ufv.br](mailto:fernanda.sousa@ufv.br)

**Abstract.** The objective of this study was to evaluate air quality of industrial farms of broilers production, located at Zona da Mata region, Minas Gerais state, Brazil. The environmental air quality was evaluated during the last rearing week, between 35 and 42 days of life of broilers. Facilities with beds constituted by two types of substrates were evaluated: coffee husks (six reuse cycles) and shavings (four reuse cycles). A total of 30 facilities were investigated. Air quality was diagnosed by determining the temperature and relative humidity of the air and by ammonia and carbon dioxide concentrations. Air temperature and relative humidity were not affected by reuse cycles in coffee husks bed, but these variables were affected by reuse cycles in shavings bed. Ammonia and carbon dioxide concentrations increased linearly according to the reuse cycles for both types of bed. The maximum concentrations of ammonia and carbon dioxide were 25 ppm and 1,348 ppm in facilities with bedding of coffee husks and 10 ppm and 1,075 ppm in facilities with bedding of shavings, respectively. Air quality of facilities using coffee husk bed tends to be worse when compared to facilities using shavings bed due to the higher values of ammonia and carbon dioxide concentrations, as observed in this study. In conclusion, regardless bedding type, increases in reuse cycles tend to decrease air quality inside the facility, since a linear increasing in ammonia and carbon dioxide concentrations can be observed in relation to the number of bed reuse cycles.

**Key words:** air pollutants, air quality, gas concentration, livestock, poultry.

## INTRODUCTION

Brazil is the second largest producer and the world's largest exporter of chicken meat, with 12.9 million tons produced in 2016 (ABPA, 2017). This intensive production combined with increased production of waste in the facility can cause significant impacts on soil, water and air (Calvet et al., 2011).

Air quality is one of the most important factors in poultry production (Menegali et al., 2009), since air pollutants, possibly present in aviaries, can alter the ideal characteristics of the air. Therefore, respiratory diseases may occur in animals and people, besides damages in the production system by negative effects on animal performance (Alencar et al., 2004; Nääs et al., 2007).

Ammonia is an air pollutant that is frequently found in high concentrations in aviaries (Owada et al., 2007). In broilers production facilities, ammonia is generated during the microbial decomposition processes of wastes that are deposited in the avian bedding. This process is influenced by air temperature, air humidity and pH of waste (Cemek et al., 2016; Manno et al., 2011; Marín et al., 2015). When the ammonium ion ( $\text{NH}_4^+$ ) present in waste is converted to ammonia ( $\text{NH}_3$ ), volatilization of ammonia occurs to the environment (Oliveira & Monteiro, 2013). On the other hand, the ammonium ion ( $\text{NH}_4^+$ ) by nitrification and denitrification processes can be converted to nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ), an important greenhouse gas (Felix & Cardoso, 2004; Marques, 1992).

The carbon dioxide production in animal production facilities is related to animal metabolism (CIGR, 1994), which, in turn, is affected by air temperature and relative humidity (Calvet et al., 2011). Under normal conditions carbon dioxide presents concentration from 500

to 3,000 ppm in animal production facilities, which may represent a health risk and affect animal production performance (CIGR, 1994).

Considering its impacts on the environment, more than a decade ago, the emissions of polluting gases were the focus of studies of researchers in several countries of Europe and North America (Faulkner & Shaw, 2008; Mosquera et al., 2005; Scholtens et al., 2004). In these regions, there are inventories that allow the establishment of protocols for gases emission reduction. For these countries, the determination of the emissions in the structures is relatively simple, since most of the facilities are closed and, therefore, have an adequate control on the volume of air.

However, for regions of tropical and subtropical climates, such as Brazil, the determination of these emissions are much more complex (Mendes et al., 2014). In fact in Brazil almost all animal production facilities are kept open for most part of time (Tinôco, 2001). Therefore, in such situations it is difficult to determine gases emissions (Saraz et al., 2013). The same condition is observed for hybrid systems, where installations can remain open or closed, according to environmental thermal variables. This is the case of positive ventilation systems which are open-side facilities that rely on fans to control the internal thermal environment (Manno et al., 2011).

The climatic conditions of warm climate countries allow animal production in open facilities, and thus, provide ideal conditions for the practice of reusing the avian bed (Marín et al., 2015). This practice has become a reality in Brazil due mainly to the impossibility of using avian bed in ruminant feeding (Brasil, 2001) and also due to the difficulty of acquiring new substrates. The avian bed reuse allows the reduction of waste generated, and thus, contributes to minimize the environmental impacts (Vieira et al., 2015). For hot climates regions there are few studies and methods to determine the emission of polluting gases (Mendes et al., 2014). In addition, studies related to air quality in livestock production are still limited to some initiatives related to animal and worker health or odours problems close to the facilities.

Knowledge of gas emission levels is a major guiding factor for national and international regulatory agencies to exercise environmental control and eliminate barriers in the commercialization of products in the poultry production (Osorio-Saraz et al., 2014). As well as maintaining the position of the largest exporter of chicken meat, Brazil must comply with international standards and requirements, taking into account the required quality standards, animal welfare requirements and environmental issues related mainly to air quality.

Consequently, research is needed in the area with the aim to identify and quantify pollutants on facilities, and then to adopt systems for the mitigation of environmental impacts. This allows improving the quality of the production environment from the lower emission of gases with greenhouse potential for the planet, aiming sustainability of production by preserving the environment for future generations (Marín et al., 2015).

Therefore, given the need of air quality monitoring in animal production environments in hot weather conditions, that is the reality of Brazil, this study was carried out aiming to make the diagnosis of air quality. The diagnosis was based on air temperature and relative humidity, and ammonia and carbon dioxide concentrations in industrial broiler production facilities commonly adopted in hot climate countries, i.e. predominantly open facilities.

## **MATERIALS AND METHODS**

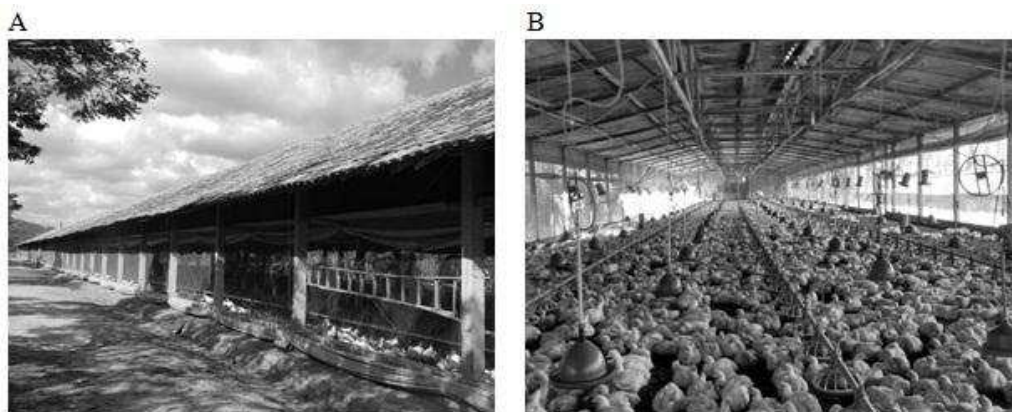
This study was conducted in farms for broilers production, located in the region of Zona da Mata of Minas Gerais, Brazil (Fig. 1). The poultry facilities were subjected to similar climatic conditions. The climate of this region according to the Köppen classification, is the type Cwb - tropical climate of altitude, with rainy summer and mild temperatures.



**Figure 1.** Location of the Zona da Mata, Minas Gerais, Brazil.

All facilities had the same constructive typologies, representative of the industrial poultry industry of Minas Gerais state and Brazil, typical of the patterns adopted in hot countries. The constructive features were the same; orientation East-West, width between 12 and 14 m, height in the eaves from 2.8 to 3.2 m, length greater than 100 m, walls of 20 cm on the sides and closure with screens and curtains. The facilities had automatic feeders and drinkers. They remained predominantly open and had a positive pressure ventilation system with axial fans arranged on the sides, activated according to the necessity of internal temperature control, especially in the final phase of breeding and in very hot days (Fig. 2A and 2B).

A layer of bedding was kept on the floor (approximately 10 cm depth) and the stocking density was maintained between 14 and 18 birds/m<sup>2</sup>. The animals were Cobb males. The birds were fed with the same feed, made using the ideal protein concept, which is widely used for the broiler production industry (Campos et al., 2012).



**Figure 2.** External (A) and internal (B) view of one of the evaluated facilities.

The air quality was evaluated in facilities that had different types of substrate in the bed (coffee husks and shavings) with different numbers of reuse cycles (up to 6 cycles for coffee husks and up to 4 cycles for shavings). These materials are commonly used in the mentioned regions, due to the great availability and low cost. For each different type of bed and cycle reuse, samples from three facilities were collected, constituting in three replications, totalling in 30 investigated aviaries.

The diagnosis of air quality was performed by determining the instantaneous air temperature and relative humidity, and ammonia and carbon dioxide concentrations. The data were measured during the last week of rearing, between 35 and 42 days of life of the chickens,

in order to obtain homogeneous samples, representative of each case and to ensure the presence of the largest possible waste load in bedding, i.e. the maximum potential situation of greenhouse gas emissions.

The data of air temperature and humidity were obtained with use of data loggers HOBO U14-002 (Onset Computer Corp.) with a resolution of 0.02°C and 0.05%, accuracy  $\pm 0.21^\circ\text{C} \pm 2.5\%$  and range measurement from - 20 to + 50°C and 0 to 100%. The carbon dioxide concentration was measured by a CO<sub>2</sub> sensor with a resolution of 1 ppm, accuracy of  $\pm 30$  ppm ( $\pm 5\%$  of reading) and measurement range from 0 to 5,000 ppm. The ammonia concentration was determined using an electrochemical ammonia detector 'Gas Alert Extreme NH<sub>3</sub>' (Honeywell / BW Technologies) with 1 ppm resolution, measuring range from 0 to 100 ppm, properly calibrated before data collection using a calibration gas standard (White Martins®).

The experiment was conducted in a completely randomized design, in which the effects of different reuse cycles of coffee husks and shavings beds were evaluated. All analyses were performed by analysis of variance (ANOVA), using the MIXED procedure of SAS (SAS Institute Inc., 2008), according to the model presented in equation 1:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

where:  $Y_{ij}$  – dependent variable;  $\mu$  – overall constant;  $T_i$  – treatment effect (reuse cycles);  $\varepsilon_{ij}$  – random error.

Due to the different number of reuse cycles obtained for coffee husks (6 cycles) and shavings (4 cycles), the ANOVA was conducted separately for each type of bed. The effect of bed cycles was evaluated by the orthogonal decomposition of the fixed effect of treatment into linear, quadratic and cubic effects. The denominator of degree of freedom was estimated using the Kenward-Roger approximation, and significant differences were declared when  $P < 0.05$ .

## RESULTS AND DISCUSSION

### Coffee husks bed

From the descriptive data referring to the facilities using coffee husks bed, it is evident that the experiment was carried out under different climatic conditions, due to the difference between maximum and minimum values of air temperature and relative humidity (Table 1). It was observed that there was more than 10°C of difference between minimum (18.4°C) and maximum (28.8°C) temperatures and 35% of difference between the extreme values of relative humidity, ranging from 43 to 78%.

The maximum ammonia concentration was 25 ppm. This value exceeds the maximum recommended for both people and animals. The health tolerance limit set by the Brazilian regulatory standard NR-15 (Brasil, 1978) for operations and unhealthy activities of workers exposed to these contaminants is 20 ppm. On the other hand, the recommended limit for ammonia that does not affect animal performance at the facility is 10 ppm (CIGR, 1994).

**Table 1.** Descriptive data for bed of coffee husks

Variable	<i>n</i>	Avg.	Std.	Min.	Max
Air temperature (°C)	18	24.8	27.6	18.4	28.8
Air relative humidity (%)	18	58.83	8.27	43.00	78.00
Ammonia (ppm)	18	12.44	6.71	4.00	25.00
Carbon dioxide (ppm)	18	974.94	194.01	662.00	1,348.00

The carbon dioxide concentration ranged from 662 to 1,348 ppm. The maximum value observed in this study is lower than the limits established for animal and human exposure. Carbon dioxide concentration up to 3,000 ppm does not affect the health and performance of animals (CIGR, 1994) and the concentration of 3,900 ppm is defined as the limit of tolerance for health exposure of workers, established by the NR-15 (Brasil, 1978).

As expected, air temperature and relative humidity were not affected by the number of reuse cycles of coffee bark bed (Table 2). These values were related to external local climatic conditions at the time of data collection, since the facilities remained open during the

experimental period that was carried out in the last week of rearing of broilers, when the temperature of thermal comfort is in the range of 21 and 23°C (Macari, 1996). According to the averages in the different reuse cycles it is observed that despite the use of positive pressure ventilation systems as a way of lowering the air temperature, almost all the installations were in a condition of thermal discomfort by heat.

The average values of ammonia and carbon dioxide concentrations increased linearly ( $P < 0.05$ ) as bed reuse cycle increased (Table 2). The highest averages occur in the largest numbers of reuse cycles.

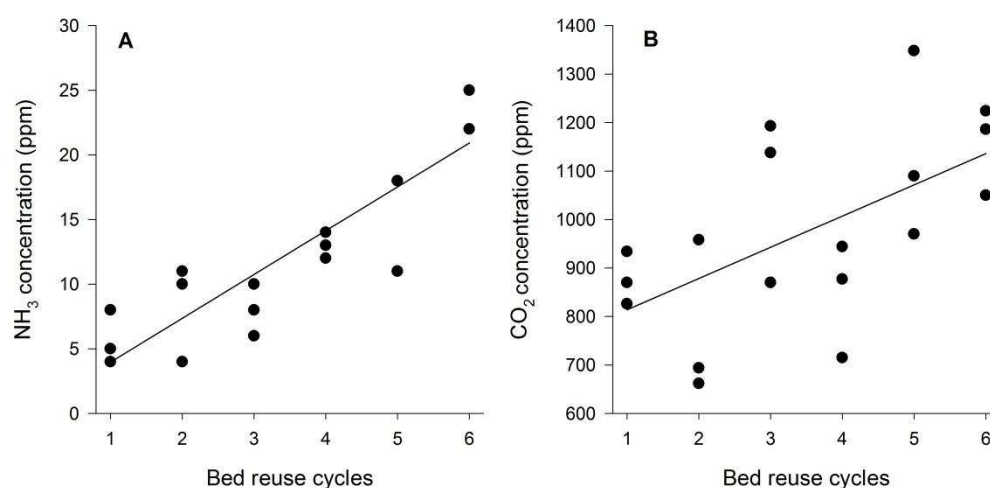
**Table 2.** Average values of air temperature (T), air relative humidity (RH), ammonia (NH<sub>3</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentrations in facilities using coffee husks bed in the different reuse cycles

Variable	Reuse cycles						<i>P</i> -valor		
	1	2	3	4	5	6	Lin.	Quad.	Cúb.
T (°C)	24.3	23.8	26.7	26.0	21.7	26.1	0.895	0.803	0.247
RH (%)	58.00	59.33	54.33	54.33	68.00	59.00	0.455	0.619	0.421
NH <sub>3</sub> (ppm)	5.66	8.33	8.00	13.00	15.67	24.00	<0.001*	0.111	0.337
CO <sub>2</sub> (ppm)	876.67	771.33	1,067.00	845.33	1,136.00	1,153.33	0.011*	0.507	0.833

\* Significant ( $P < 0.05$ ).

In general, the pattern of ammonia and carbon dioxide concentrations were similar, increasing due to the increase in the number of reuse cycles (Fig. 3).

The generation and emission of ammonia in wastes are influenced by air temperature and relative humidity (Arcidiacono et al., 2015; Cemek et al., 2016; Popescu et al., 2010), because these factors are able to directly influence the temperature and humidity of the bed, thus favouring the microbial activity in the waste (Manno et al., 2011). According to several studies (Carvalho et al., 2009; Fabbri et al., 2007; França et al., 2014; Furlan, 2006; Furtado et al., 2006; Mendes et al., 2014; Ndegwa et al., 2008; Osório et al., 2009; Rong et al., 2009; Van der Stelt et al., 2007; Vitorasso & Pereira, 2009; Webb & Misselbrook, 2004; Zhang et al., 2005) there is a relationship between air temperature and ammonia concentration in animal production environments, in the presence of waste. In situations of high temperatures (around 35°C) the microbial activity is intensified, allowing a higher rate of uric acid mineralization, which induces the increase of the potential of both generation and emission of ammonia (França & Tinôco, 2014).



**Figure 3.** Pattern of ammonia (A) and carbon dioxide (B) concentrations as a function of reuse cycle of coffee husk bed.

### Shavings bed

By the descriptive data of facilities that used shavings bed (Table 3), it can be observed that the data collections were carried out under similar climatic conditions, since there was a difference of only 3.5°C between minimum and maximum air temperature. However, the relative humidity ranged from 37 to 76%. The maximum ammonia concentration was 10 ppm and the carbon dioxide concentration varied between 726 and 1,075 ppm.

The maximum values of ammonia (10 ppm) and carbon dioxide (1,075 ppm) were within the exposure limits recommended for animals and people. As previously mentioned, in animal production facilities, the limits for ammonia concentration is 10 ppm (for animal) and 20 ppm (for people) and carbon dioxide concentration for animals and humans are 3,000 and 3,900 ppm, respectively (Brasil, 1978; CIGR, 1994).

**Table 3.** Descriptive data for shavings bed

Variable	<i>n</i>	Avg.	Std.	Min.	Max
Air temperature (°C)	12	27.6	1.37	25.8	29.3
Air relative humidity (%)	12	52.58	12.25	37.00	76.00
Ammonia (ppm)	12	5.63	2.65	2.00	10.00
Carbon dioxide (ppm)	12	891.83	99.61	726.00	1,075.00

The air temperature was linearly affected by reuse cycles, while air relative humidity presented a cubic effect of reuse cycles (Table 4). However, as the facilities were predominantly open during the data collection period, the effects observed for temperature and relative humidity appear to be more related to environmental variations than to the effect of the reuse cycles. From the average values of temperatures, it is observed that the facilities with bed of shavings were in condition of thermal discomfort by heat, with temperatures above 25°C while the thermal comfort range for broilers in the last week of breeding is in the range between 21 and 23°C (Macari, 1996).

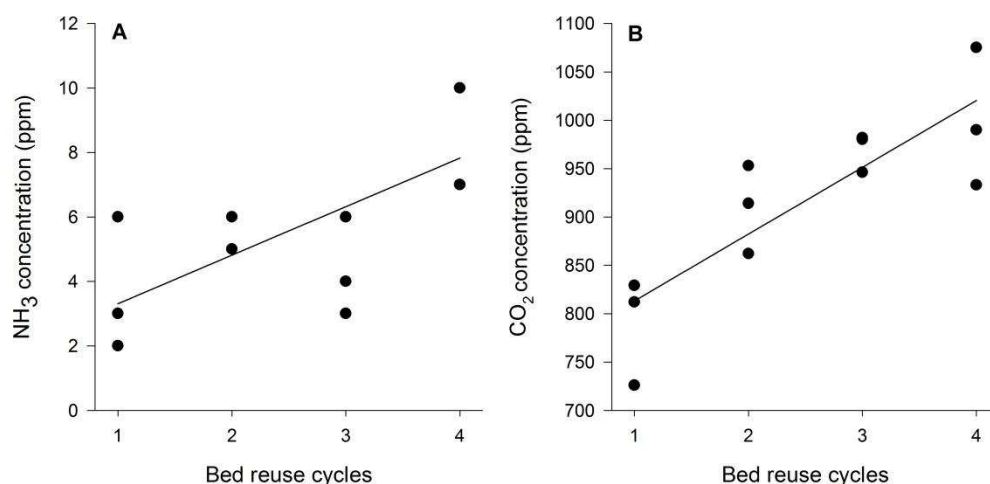
The average values of ammonia and carbon dioxide concentrations of shavings bed increased linearly ( $P < 0.05$ ) as the reuse cycles increased (Table 4). The highest average values of ammonia and carbon dioxide were observed for the highest number of reuse cycles.

**Table 4.** Average values of air temperature (T), air relative humidity (RH), ammonia (NH<sub>3</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentrations in facilities using shavings bed in the different reuse cycles

Variable	Reuse cycles				<i>P</i> -valor		
	1	2	3	4	Lin.	Quad.	Cúb.
T (°C)	25.9	28.7	28.0	28.5	<b>0.046*</b>	0.125	0.105
RH (%)	57.67	41.00	66.00	45.67	0.746	0.818	<b>0.002*</b>
NH <sub>3</sub> (ppm)	3.67	5.50	4.33	9.00	<b>0.019*</b>	0.184	0.108
CO <sub>2</sub> (ppm)	789.00	909.67	969.33	999.33	<b>0.044*</b>	0.071	0.763

\*Significant ( $P < 0.05$ ).

In general, ammonia and carbon dioxide concentrations increased as the reuse cycle increased (Figure 4), presenting similar pattern as observed for coffee husks bed and previously discussed.



**Figure 4.** Pattern of ammonia (A) and carbon dioxide (B) concentrations as a function of reuse cycle of shavings bed.

Comparing the two types of bedding (coffee husks and shavings), from the first to the fourth reuse cycle, it is observed that in general the values of ammonia concentration in the facilities with coffee husks bed were higher than the values found in the facilities with shavings bed. The same situation is observed for carbon dioxide concentration. As conclusion, in facilities with coffee husks bed the air quality tends to be worse when compared to the facilities with shavings bed.

Regardless bedding type, it is observed that the increase in the number of reuse cycles tends to decrease air quality due to the linear increase in ammonia and carbon dioxide concentrations. Similar results were reported by Marín et al. (2015), which, evaluating beds of wood chips and coffee husks with up to four reuse cycles, concluded that the increase in the number of reuse resulted in higher ammonia emissions.

## CONCLUSIONS

The study allows to draw some conclusions. In particular, in relation to the type of bedding, it has been remarked that facilities using coffee husks bed tend to have poorer air quality when compared to facilities using shavings bed, due to the higher values of ammonia and carbon dioxide concentrations.

Regardless of the type of the bedding, the increase in the number of cycles tend to worsen air quality inside the facility, as the linear patterns of ammonia and carbon dioxide concentrations values in relation to the number of bed reuse show.

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors thank the sponsors CAPES, CNPq and FAPEMIG.

## REFERENCES

- ABPA. 2017. ABPA 2017 Annual Report. *Associação Brasileira de Proteína Animal* São Paulo, 134 pp. (in Portuguese).
- Alencar, M.C.B., Nääs I. A. & Gontijo L.A. 2004. Respiratory risks in broiler production workers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* **6**, 23–29.
- Arcidiacono, C., Porto, S.M.C. & Cascone, G. 2015. On ammonia concentrations in naturally ventilated dairy houses located in Sicily. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* **2015**, 294–310.
- Brasil. 1978. Ordinance 3,214 of July 1978. Regulatory norms for safety and health at work - NR-15: Unhealthy activities and operations. *Ministério do Trabalho e Emprego* 85 pp. (in Portuguese).
- Brasil. 2001. Normative Instruction Nº 15 of July 17, 2001. *Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento* 2 pp. (in Portuguese).
- Calvet, S., Cambra-López, M., Estellés, F. & Torres, A.G. 2011. Characterization of gas emissions from a Mediterranean broiler farm. *Poultry science* **90**, 534–542.
- Campos, A.M.A., Rostagno, H.S., Nogueira, E.T., Albino, L.F.T., Pereira, J.P.L. & Maia, R.C. 2012.

- Update of the ideal protein for broilers: arginine, isoleucine, valine and tryptophan. *Revista Brasileira de Zootecnia* **41**, 326–32 (in Portuguese).
- Carvalho, V.F., Yanagi Junior, T., Damasceno, F.A., Morais, S.R.P. & Tinôco, I.F.F. 2009. Development of software to predict the thermal environment and performance of broiler chickens in climatized sheds. *Revista Brasileira de Agroinformática* **9**, 1–16 (in Portuguese).
- Cemek, B., Kucuktopcu, E. & Demir, Y. 2016. Determination of spatial distribution of ammonia levels in broiler houses. *Agronomy Research* **14**, 359–66.
- CIGR. 1994. *Aerial Environment in Animal Housing: Concentrations in and Emissions from Farm Buildings*. Dublin, 116 pp.
- Fabbri, C., Vallia, L., Guarinob, M., Costab, A. & Mazzotta, V. 2007. Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. *Biosystems Engineering* **97**, 441–55.
- Faulkner, W.B. & Shaw, B.W. 2008. Review of ammonia emission factors for united states animal agriculture. *Atmospheric Environment* **42**, 6567–6574.
- Felix, E.P. & Cardoso, A.A. 2004. Amônia (NH<sub>3</sub>) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. *Química Nova* **27**, 123–30 (in Portuguese).
- França, L.G.F. & Tinôco, I.F.F. 2014. Characterization of environmental factors and zoning of egg production in the state of Minas Gerais. In *XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014*. Campo Grande, pp. 27–30 (in Portuguese).
- França, L.G.F., Tinôco, I.F.F., Mendes, M.A.S.A. & Coelho, D.J.R. 2014. Characterization of factors that influence the emission of ammonia from laying hens and proposing a score for maximum emission potential. In *XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, Campo Grande 4 (in Portuguese).
- Furlan, R.L. 2006. Influence of temperature on broiler production. In: *VII Simpósio Brasil Sul de Avicultura*. Chapecó, **2006**, pp. 104–35 (in Portuguese).
- Furtado, D.A., Dantas, R.T., Nascimento, J.W.B., Santos, J.T. & Costa, F.G.P. 2006. Effects of different environmental conditioning systems on the productive performance of broilers. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental* **10**, 484–89 (in Portuguese).
- Manno, M.C., Lima, K.R.S., Aguilar, C.A.L., Souza, N.S.S., Barata, Z.R.P. & Viana, M.A.O. 2011. Production of ammonia inside poultry houses with environmental modifications. *Revista de Ciências Agrárias* **54**, 159–64 (in Portuguese).
- Marín, O.L.Z., Tinôco, I.F.F., Saraz, J.A.O., Souza, C.F. & Vieira, M.F.A. 2015. Evaluation of the fertilizer and contamination potential of different broiler litter types subjected to various use cycles. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* **68**, 7637–46.
- Marques, V.S. 1992. The greenhouse effect and global warming. *Anuario IGEO* **15**, 93–106 (in Portuguese).
- Mendes, L.B., Tinoco, I.F.F., Ogink, N.W.M., Rocha, K.S.O., Osorio Saraz, J.A. & Santos, M.S. 2014. Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **18**, 1179–85.
- Menegali, I., Tinôco, I.F.F., Baêta, F.C., Cecon, P.R., Guimarães, M.C.C. & Cordeiro, M.B. 2009. Thermal environment and concentration of gases in facilities for broiler chickens in the warm-up period. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **13**, 984–90 (in Portuguese).
- Mosquera, J., Monteny, G.J. & Erisman, J.W. 2005. Overview and assessment of techniques to measure ammonia emissions from animal houses: the case of the netherlands. *Environmental Pollution* **135**, 381–88.
- Nääs, I.A., Miragliotta, M.Y., Baracho, M.S. & Moura, D.J. 2007. Aerial environment in housing broilers: dust and gases. *Engenharia Agrícola* **27**, 326–35 (in Portuguese).
- Ndegwa, P.M., Hristov, A.N., Arogo, J. & Sheffield, R.E. 2008. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. *Biosystems Engineering* **100**, 453–69.
- Oliveira, P.A.V. & Monteiro, A.N.T.R. 2013. Ammonia emission in the production of broilers. In *Conferência FACTA*, ed. FACTA. Campinas, 11 pp. (in Portuguese).
- Osorio-Saraz, J.A., Ferreira-Tinoco, I.F., Gates, R.S., Oliveira-Rocha, K.S., Combatt-Caballero, E.M. & Campos-de-Sousa, F. 2014. Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. *DYNA* **81**, 137–43.
- Osório, J.A., Tinôco, I.F.F. & Ciro, H.J. 2009. Ammonia : a review of concentration and emission models in livestock structures. *Dyna* **76**, 89–99.
- Owada, A.N., Nääs, I.A., Moura, D.J. & Baracho, M.S. 2007. Estimation of well-being of broiler chicken as a function of the ammonia concentration and degree of luminosity in the production shed. *Engenharia Agrícola* **27**, 611–18 (in Portuguese).

- Pan, B., Lam, S.K., Mosier, A., Luo, Y. & Chen, D. 2016. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **232**, 283–89.
- Popescu, S., Stefan, R., Borda, C., Lazar, E.A., Sandru, C.D. & Spinu, M. 2010. The ammonia concentration in growing-finishing pig houses. *Lucrari Stiintifice Medicina Veterinara* **43**, 320–26.
- Rong, L., Nielsen, P. & Zhang, G. 2009. Effects of airflow and liquid temperature on ammonia mass transfer above an emission surface: experimental study on emission rate. *Bioresource technology* **100**, 4654–61.
- Saraz, J.A.O., Tinoco, I.F.F., Gates, R.S., Paula, M.O. & Mendes, L.B. 2013. Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. *Dyna* **80**, 51–60.
- SAS Institute Inc. 2008. *SAS/STAT(r) 9.2 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scholtens, R., Dore, C.J., Jones, B.M.R., Lee, D.S. & Phillips, V.R. 2004. Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores - part 1: development and validation of external tracer ratio, internal tracer ratio and passive flux sampling methods. *Atmospheric Environment* **38**, 3003–15.
- Van der Stelt, B., Temminghoff, E.J.M., Van Vliet, P.C.J. & Van Riemsdijk, W.H. 2007. Volatilization of Ammonia from Manure as Affected by Manure Additives, Temperature and Mixing. *Bioresource technology* **98**, 3449–55.
- Tinoco, I.F.F. 2001. Industrial poultry: new concepts of materials, concepts and constructive techniques available for Brazilian poultry houses. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* **3**, 1–24 (in Portuguese).
- Vieira, M.F.A., Tinoco, I.F.F., Santos, B.M., Cassuce, D.C., Aquino, L.L. & Sousa, F.C. 2015. Sanitary quality of broiler litter reused. *Engenharia Agrícola* **35**, 800–807.
- Vitorasso, G. & Pereira, D.F. 2009. Comparative analysis of the poultry environment with different packing systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **13**, 788–94 (in Portuguese).
- Webb, J., & Misselbrook, T.H. 2004. A mass-flow model of ammonia emissions from uk livestock production. *Atmospheric Environment* **38**, 2163–76.
- Zhang, G. Strøm, J.S., Li, B., Rom, H.B., Morsing, S., Dahl, P. & Wang, C. 2005. Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. *Biosystems Engineering* **92**, 355–64.

**ARTIGO VI**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CAMAS AVIÁRIAS DE  
MARAVALHA E CASCA DE CAFÉ SUBMETIDAS A DIFERENTES  
TEMPERATURAS DO AR**

*Artigo submetido na “Revista Engenharia Agrícola” ISSN 1809-4430*

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CAMAS AVIÁRIAS DE  
MARAVALHA E CASCA DE CAFÉ SUBMETIDAS A DIFERENTES  
TEMPERATURAS DO AR**

**RESUMO:** Objetivou-se com o presente trabalho determinar as características físico-químicas (teores de umidade, valores de pH, nitrogênio total e amoniacal) de camas aviárias constituídas por diferentes substratos (maravalha e casca de café), com diferentes ciclos de utilização e submetidas a diferentes valores de temperatura do ar. Para este estudo, foram investigados trinta aviários comerciais, situados na Zona da Mata Mineira, onde foram coletadas amostras de cama aviária (maravalha com até quatro ciclos de utilização e casca de café com até seis ciclos de utilização), sendo três repetições de cada. As amostras foram submetidas a diferentes temperaturas do ar (25, 30, 35 e 40°C), por um período de 24 horas. A partir dos resultados, concluiu-se que, para ambas as camas aviárias analisadas nas diferentes temperaturas do ar, os teores de umidade e os valores de pH diminuíram em função do ciclo de utilização. Enquanto que os valores de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal aumentaram em função do número de ciclos de utilização.

**Palavras-chave:** emissão de gases, poluição atmosférica, qualidade do ar na produção animal

**PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SHAVINGS BED AND  
COFFEE HUSKS BED UNDER DIFFERENT AIR TEMPERATURES**

**ABSTRACT:** The objective was to determine the physical and chemical characteristics (moisture, pH, total nitrogen, ammoniacal nitrogen) of avian beds composed of different substrates (shavings and coffee husks), with different reuse cycles and subjected to

different air temperature. Thirty commercial aviaries located in the region of Zona da Mata Mineira were investigated. Samples of avian bed substrate were taken (shavings with up to four reuse cycles and coffee husks with up to six reuse cycles) in three replicates each. The samples of beds were submitted to different air temperatures (25, 30, 35 and 40 ° C) for a period of 24 hours. From the results, it can be concluded that, for both beds analyzed at different air temperatures, the moisture contents and the pH values decreased as function of reuse cycles. While the values of total nitrogen and ammoniacal nitrogen increased as a function of the reuse cycles for both beds.

**Keywords:** air pollution, air quality in animal production, gas emissions

## INTRODUÇÃO

A qualidade do ar constitui um dos fatores mais importantes a serem garantidos pela produção avícola, uma vez que os poluentes aéreos, naturalmente formados e presentes nos aviários, dependendo de suas concentrações, podem alterar as características ideais do ar ambiente, favorecendo a susceptibilidade a doenças respiratórias de aves e trabalhadores, comprometendo a performance produtiva do lote, gerando prejuízos à produção e à qualidade do ar das áreas externas aos aviários e ambiente de uma forma mais ampla (Calvet et al., 2013; Mendes et al., 2014; Ogink et al., 2013; Osorio Hernandez et al., 2016; Saraz et al., 2013).

Neste sentido, a geração de amônia nos galpões de frangos de corte é causada por diversos fatores relacionados à cama aviária. Como aumento de pH e, principalmente, pelo excesso de umidade oriunda dos dejetos, além da decomposição do substrato que é utilizado para as camas (Marín et al., 2015). Quando o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), presente no mencionado composto, é convertido em amônia ( $\text{NH}_3$ ) ela difunde-se da cama para o ambiente por ser um composto volátil (Oliveira & Monteiro, 2013). Além disso, o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), através de processos de nitrificação e desnitrificação,

pode ser convertido a óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), um importante gás de efeito estufa (Felix & Cardoso, 2004).

Desta forma, considerando seu impacto ao ambiente, há mais de uma década as emissões de amônia têm sido foco de estudos de pesquisadores em diversos países da Europa e América do Norte (Bittman et al., 2015; Gericke et al., 2011; Lima et al., 2011; Reidy et al., 2009). Onde já se procedeu a realização de inventários sobre emissões de gases, possibilitando, assim, o estabelecimento de seus protocolos para redução das emissões. Entretanto para esses países, a determinação da emissão de amônia nas estruturas é relativamente simples, uma vez que a maioria das instalações são predominantemente fechadas e, portanto, tem-se controle sobre o volume de ar dos abrigos e, conseqüentemente, sobre as taxas de emissões de diferentes componentes gasosos.

Contudo, para as regiões de climas tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil, as condições climáticas do país permitem que os abrigos de produção animal sejam mantidos abertos durante a maior parte do tempo (Tinôco, 2001). Constituindo-se, assim, em sistemas termodinâmicos abertos, com interferências de correntes de vento externas não controláveis que dificultam, sobremaneira, a quantificação dos níveis de emissão de amônia (Saraz et al., 2013, Mendes et al., 2014).

O conhecimento dos níveis de emissões de gases constitui um dos fatores norteadores principais para que os órgãos nacionais e internacionais possam exercer o controle ambiental e eliminar barreiras na comercialização de produtos da cadeia avícola (Osorio-Saraz et al., 2014). Para países com relevada importância na produção e exportação de frangos de corte mundial, destacadamente o Brasil, deve-se considerar a relevância em se priorizar ações mitigadoras ou impeditivas de danos ou comprometimento à sustentabilidade da atividade avícola. Por isso o país deve adequar-se as normas e exigências internacionais, atendendo aos padrões de qualidade exigidos,

aos requisitos de bem estar animal e às questões ambientais relacionadas principalmente à qualidade do ar e às emissões de poluentes atmosféricos.

Sendo assim, objetivou-se com esse trabalho caracterizar as condições ambientais e de manejo adotadas que favorecem e contribuem com a emissão desse gás pela avicultura de corte no Brasil e demais regiões em condições de clima quente. Para isto, buscou-se determinar as características físico-químicas (teores de umidade, valores de pH, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal) de camas aviárias (maravalha e casca de café) provenientes da avicultura de corte brasileira, com diferentes ciclos de utilização submetidas a diferentes valores de temperatura do ar.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Coleta das amostras de cama nos aviários**

Na primeira etapa deste trabalho foram coletadas amostras de diferentes tipos de cama aviária, com diferentes ciclos de reutilização. As amostras foram provenientes de instalações para produção de frangos de corte, com as mesmas tipologias construtivas, representativas da avicultura industrial do estado de Minas Gerais, típicas dos padrões adotados nos países de clima quente.

Os galpões possuíam as seguintes características construtivas: orientação da cumeeira no sentido leste-oeste, largura entre 12 e 14 metros, pé-direito de 2,8 a 3,2 metros, comprimento entre 100 e 140 metros, laterais com muretas de 20 cm e fechamento com telas e cortinas plásticas móveis e providos de comedouros e bebedouros automáticos. As instalações permaneciam predominantemente abertas e continham sistema de ventilação por pressão positiva, com ventiladores axiais dispostos nas laterais dos galpões, os quais eram acionados de acordo com a necessidade de controle da temperatura interna.

O sistema de criação era constituído por cama sobreposta ao piso, onde eram utilizados, predominantemente, animais machos da linhagem Cobb, com densidade de alojamento entre 14 e 18 aves/m<sup>2</sup>. A alimentação dos animais foi formulada utilizando-se o conceito de proteína ideal, de acordo com as análises realizadas em amostras das rações utilizadas, o teor de proteína bruta foi em média de 21%.

As coletas foram realizadas durante a última semana de criação, período esse compreendido entre 35 e 42 dias de vida dos frangos. Com a finalidade de obter amostras homogêneas, representativas e com a presença da maior carga de dejetos possível na cama.

Foram avaliadas camas aviárias constituídas por dois tipos de substratos, maravalha fina e casca de café. A maravalha por ser considerada como o substrato padrão para cama aviária e a casca de café por ser o material alternativo mais comumente utilizado nas mencionadas regiões, em função da sua maior disponibilidade e menor custo. As camas de maravalha eram reutilizadas por até quatro ciclos e as camas de casca de café por até seis ciclos.

Para cada um dos diferentes tipos de cama e ciclos de utilização foram coletadas amostras de três galpões, constituindo-se assim em três repetições e totalizando em 30 aviários investigados. Em cada um dos aviários foram coletadas amostras simples da cama em 20 diferentes pontos pré-determinados, distribuídos ao longo de toda a extensão do galpão, representativos de toda a área de alojamento, evitando-se áreas próximas ou sobre comedouros e bebedouros (Singh et al., 2004).

Dessas amostras simples era formada uma única amostra composta, descompactada, homogeneizada e armazenada em saco plástico devidamente identificado. Após a coleta, a amostra composta era imediatamente encaminhada para as câmaras climáticas onde foi desenvolvido o experimento e a seguir para os laboratórios para análise físico-química.

### **Condução do experimento em câmaras climáticas**

O experimento foi conduzido em câmaras climáticas, com as dimensões de 2,4 × 3,3 × 2,5 m (altura, comprimento e largura). Cada câmara climática era equipada com um aparelho condicionador de ar tipo quente/frio de 12000 BTU/h, um aquecedor de resistência elétrica, com potência de 2000 W e um umidificador de ar com débito de névoa na faixa de 300 mL/h. Sendo que todos esses equipamentos eram acionados ou desligados por controlador digital eletrônico de temperatura e umidade (MT-531Ri plus), de acordo com valores pré-estabelecidos.

Cada uma das amostras compostas coletas nos aviários, dos diferentes tipos de camas com diferentes ciclos de reutilização, foi disposta individualmente em caixas plásticas retangulares com volume de 20 L e as seguintes dimensões: 60 cm de comprimento, 38 cm de largura e 16 cm de altura. As caixas eram preenchidas com cama até a altura de 10 cm, conforme a profundidade adotada na indústria avícola. O material permanecia no interior das câmaras climáticas, submetido às diferentes temperaturas, por um período de 24 horas.

Foram avaliadas quatro diferentes temperaturas do ar, sendo: 25, 30, 35 e 40°C. Em todas as câmaras climáticas foram adotadas a mesma faixa de umidade relativa do ar, considerada ideal para o conforto animal, entre 40 e 70% (Baêta & Souza, 2010; Tinôco, 2001). A taxa de renovação do ar também foi a mesma em todas as câmaras climáticas, adotando-se a ventilação higiênica, com seis renovações de ar por hora (Menegali et al., 2012). Assim, todos os fatores ambientais estiveram de acordo com o mais comumente praticado na produção industrial avícola brasileira.

### **Avaliação das propriedades físicas e químicas**

Para avaliação das propriedades físicas e químicas da cama aviária foram realizadas duas coletas de amostras de cama para análises laboratoriais, uma imediatamente antes de iniciar o experimento, denominada condição inicial, e outra após o período de 24 horas de exposição aos diferentes tratamentos.

O teor de umidade da cama foi determinado utilizando-se o método recomendado pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA, 1997). O pH das amostras de cama foi determinado pelo método potenciométrico (Alvarez, 1992).

O nitrogênio total das amostras foi determinado pelo método Kjeldhal (AOAC, 2005) seguindo os processos de digestão, destilação e titulação. Para determinar o nitrogênio amoniacal também foi utilizado o método Kjeldhal (AOAC, 2005), porém só foram realizados os processos de destilação e titulação das amostras, conforme sugerido por APHA et al. (2002).

### **Delineamento experimental e análises estatísticas**

O experimento foi conduzido e analisado segundo um delineamento inteiramente casualizado, seguindo um esquema fatorial 4×4 para a cama de maravalha (sendo 4 ciclos de utilização da cama e 4 diferentes temperaturas, 25, 30, 35 e 40°C); e um esquema fatorial 6×4 para a cama de casca de café (sendo 6 ciclos de utilização da cama e 4 diferentes temperaturas, 25, 30, 35 e 40°C). As análises foram conduzidas separadamente para as camas de maravalha e casca de café, devido ao diferente número de ciclos de utilização obtidos para cada tipo de cama.

Primeiramente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), a fim de verificar o efeito de interação entre os ciclos de utilização e as temperaturas utilizadas. A análise foi conduzida através do procedimento *MIXED* do SAS (SAS Institute Inc., 2008), sendo adotado um nível de significância de 0,05.

Posteriormente, com o objetivo de avaliar o comportamento das variáveis umidade, pH, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal foram ajustadas equações simples em função do ciclo de utilização da cama, para cada temperatura testada. Foram testados os efeitos linear e quadrático de ciclo de utilização, sendo que a seleção dos efeitos (linear e quadrático) foi realizada através do método “*backward*” de exclusão de variáveis. As equações foram ajustadas utilizando-se o procedimento *REG* do SAS (SAS Institute Inc., 2008), utilizando-se um nível de significância de 0,05.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com a análise de variância, não foi observado efeito de interação ( $P > 0,05$ ) entre ciclo de utilização e temperatura sobre nenhuma das variáveis analisadas (pH, umidade, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal). Indicando que as variáveis apresentaram comportamento similar em função dos ciclos de utilização, para todas as temperaturas testadas.

### **Teor de umidade**

Os valores de umidade da cama de maravalha e casca de café apresentaram diferença significativa entre os ciclos de utilização ( $P < 0,05$ ). Para a cama de maravalha tanto os valores iniciais quanto os valores após as camas serem submetidas aos tratamentos apresentaram comportamento quadrático decrescente em função do aumento no número de ciclos de utilização. Da mesma forma, o teor de umidade da cama de casca de café apresentou comportamento decrescente, no caso linear, em função do aumento no número de ciclos de utilização (Tabela 1).

Tabela 1. Equações ajustadas para descrever o comportamento dos valores de umidade da cama de maravalha e casca de café em relação ao ciclo de utilização, nas diferentes temperaturas do ar

Condição	Equação	R <sup>2</sup>	EPE
<i>Cama de maravalha</i>			
Inicial	$U = 42,91 - 8,69 \times C + 1,22 \times C^2$	0,96	1,29
25 °C	$U = 38,81 - 6,95 \times C + 1,07 \times C^2$	0,99	0,14
30 °C	$U = 41,89 - 8,24 \times C + 1,19 \times C^2$	0,93	1,48
35 °C	$U = 37,88 - 7,08 \times C + 1,17 \times C^2$	0,95	0,79
40 °C	$U = 39,32 - 8,43 \times C + 1,34 \times C^2$	0,91	1,41
<i>Cama de casca de café</i>			
Inicial	$U = 32,84 - 1,22 \times C$	0,83	1,14
25 °C	$U = 31,90 - 1,17 \times C$	0,91	0,75
30 °C	$U = 29,71 - 0,74 \times C$	0,82	0,73
35 °C	$U = 31,74 - 1,09 \times C$	0,82	1,05
40 °C	$U = 31,08 - 1,05 \times C$	0,85	0,92

U=umidade (%); C=ciclo de utilização; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; EPE = erro padrão da estimativa.

O teor de umidade das camas decresceu à medida que as temperaturas utilizadas (tratamentos) aumentaram (Figura 1). Tal comportamento, já foi previamente observado por diversos autores (França et al., 2014; Marín et al., (2015); Oliveira & Monteiro, 2013; Tasistro et al., 2008), o que indica que a temperatura do ar influencia na umidade da cama, ou seja, quanto maior a temperatura do ar mais seca será a cama.

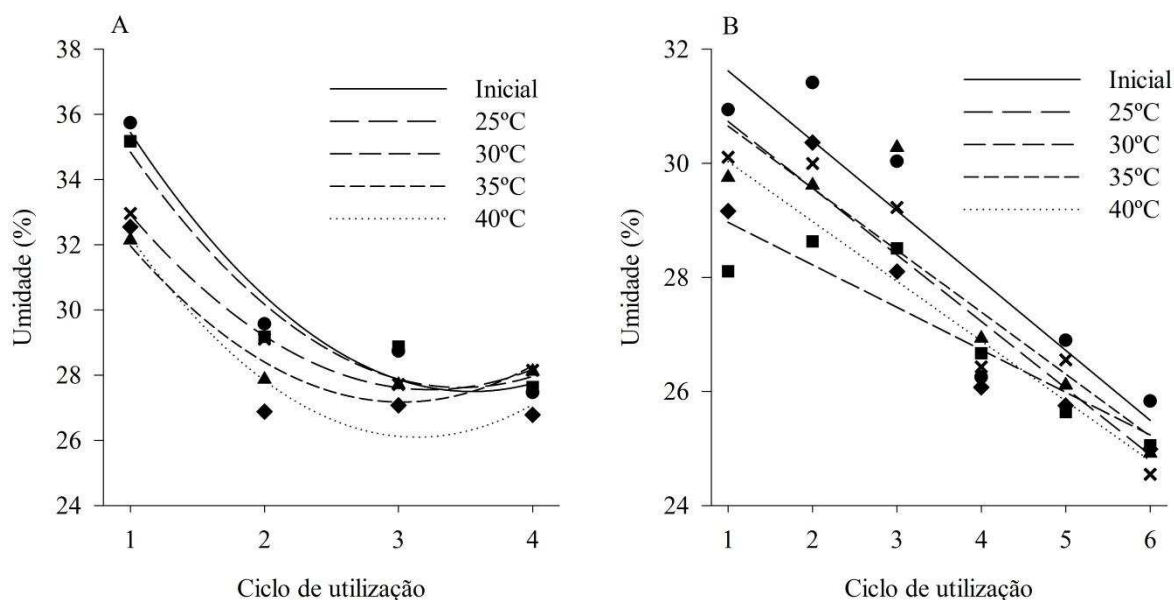


Figura 1. Teor de umidade das amostras de cama de maravalha (A) e casca de café (B), nos diferentes ciclos de utilização submetidas às diferentes temperaturas do ar.

Dentre as técnicas adotadas nas instalações aviárias com reutilização de cama é comum incorporar uma pequena camada de substrato no início de cada novo ciclo produtivo. A incorporação deste novo substrato pode causar redução no teor de umidade da cama, pois, segundo dados obtidos neste estudo, a maravalha pura apresenta teor de umidade na faixa de 7% e a casca de café em torno de 15%, valores estes bem inferiores aos apresentados pela camas, mesmo após o primeiro ciclo de utilização. Outra técnica de manejo da cama aviária comumente utilizada para o controle da qualidade do ar no interior das instalações é a aplicação de aditivos químicos, como por exemplo, a aplicação de gesso agrícola que promove a redução dos teores de umidade e diminui a volatilização de amônia (Freitas et al., 2011; Ndegwa et al., 2008; Oliveira & Monteiro, 2013; Oro & Guirro, 2014).

A queda no teor de umidade da cama com o aumento no número de ciclos de utilização e com o aumento da temperatura, descrita pelas equações apresentadas acima, pode ocorrer também devido a perda de água que ocorre nos resíduos e na cama por

processos de evaporação. Como as instalações permanecem predominantemente abertas, seu interior está sujeito a ocorrência de correntes de ar que promovem a circulação do ar no interior da instalação contribuindo com esses processos evaporativos.

## **pH**

Os valores de pH variaram de forma quadrática decrescente, de acordo com o aumento do número de ciclos de utilização, para ambos os tipos de cama (Tabela 2). Após as camas serem submetidas aos diferentes tratamentos térmicos, observa-se um aumento nos valores de pH em relação aos valores da condição inicial, evidenciando assim que a temperatura do ar pode influenciar na emissão amônia de forma indireta ao promover aumento nos valores de pH.

Tabela 2. Equações ajustadas para a determinação do pH das camas de maravalha e casca de café em relação ao ciclo de utilização para diferentes temperaturas do ar

Condição	Equação	R <sup>2</sup>	EPE
<i>Cama de maravalha</i>			
Inicial	$\text{pH} = 8,43 + 0,08 \times C - 0,03 \times C^2$	0,92	0,06
25 °C	$\text{pH} = 8,93 + 0,07 \times C - 0,04 \times C^2$	0,99	0,03
30 °C	$\text{pH} = 8,80 + 0,16 \times C - 0,06 \times C^2$	0,96	0,06
35 °C	$\text{pH} = 8,61 + 0,34 \times C - 0,08 \times C^2$	0,92	0,08
40 °C	$\text{pH} = 8,66 + 0,27 \times C - 0,07 \times C^2$	0,93	0,07
<i>Cama de casca de café</i>			
Inicial	$\text{pH} = 8,67 + 0,08 \times C - 0,02 \times C^2$	0,94	0,03
25 °C	$\text{pH} = 8,67 + 0,18 \times C - 0,03 \times C^2$	0,89	0,03
30 °C	$\text{pH} = 8,74 + 0,16 \times C - 0,03 \times C^2$	0,86	0,05
35 °C	$\text{pH} = 8,90 + 0,11 \times C - 0,02 \times C^2$	0,73	0,07
40 °C	$\text{pH} = 8,82 + 0,14 \times C - 0,02 \times C^2$	0,83	0,04

C=ciclo de utilização; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; EPE = erro padrão da estimativa.

Os valores iniciais de pH (antes das camas serem submetidas aos tratamentos) variaram de 8,5 a 8,2 para cama de maravalha, e de 8,7 a 8,5 para a casca de café (Figura 2). Valores semelhantes, variando entre 7,9 e 8,5, foram observados por Marín et al. (2015), para ambas as camas de maravalha fina e casca de café, do primeiro ao quarto ciclo de reutilização.

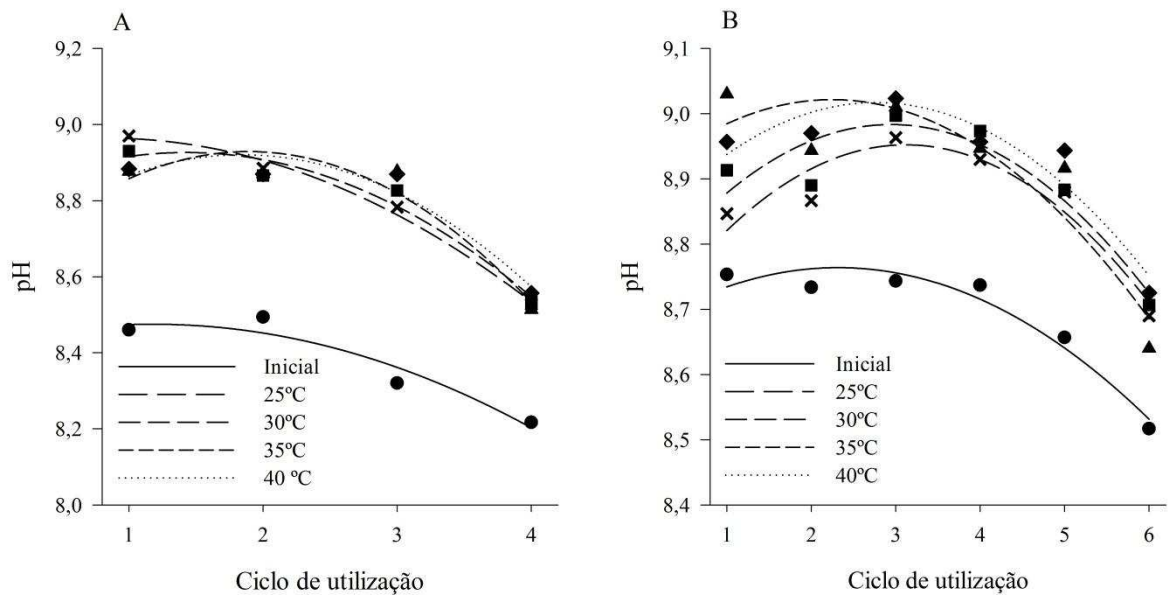


Figura 2. pH das camas de maravalha (A) e casca de café (B) para os diferentes ciclos de utilização e diferentes temperaturas do ar.

Esses elevados valores de pH evidenciam a existência de um potencial de geração e emissão de amônia. Para diversos autores (França et al., 2014; Gay & Knowlton, 2009; Zhao et al., 2016) elevados valores de pH contribuem com elevadas taxas de emissão de amônia. Quanto maior o pH dos dejetos maior é a relação entre  $\text{NH}_3$  e  $\text{NH}_4$ , sendo que na faixa entre 8,0 e 10,0 ocorre essa máxima relação (Gay & Knowlton, 2009), e o pH ótimo para a degradação do ácido úrico é em torno de 9,0 (Groot Koerkamp et al., 1998). Sendo assim, considerando esses dois fatores em conjunto, Vogels & Drift (1976) observaram que o máximo potencial de geração e emissão de amônia ocorre quando os dejetos apresentam pH em torno de 9,0, por ocorrer tanto a maior taxa de conversão de  $\text{NH}_4$  em  $\text{NH}_3$ , quanto maior atividade bacteriana de decomposição do ácido úrico, uma vez que, nessa faixa de pH, ocorrem condições ótimas para o desenvolvimento das bactérias decompositoras.

O comportamento quadrático decrescente de acordo com o aumento do número de ciclos de utilização pode ter relação com o comportamento do teor de umidade, que também diminuiu com os ciclos. Como também pode estar ligado às mesmas razões

citadas anteriormente, uma vez que a adição de uma nova camada de cama pode alterar o pH, pois, de acordo com análises realizadas neste estudo, a maravalha pura apresenta pH na faixa de 4,0 e a casca de café na faixa de 5,0. Adicionalmente, a aplicação de aditivos químicos, como por exemplo, o sulfato de alumínio promove a redução dos valores de pH, e com isso, consegue-se reduzir a carga bacteriana e conseqüentemente diminuir a volatilização de amônia (Freitas et al., 2011; Ndegwa et al., 2008; Oliveira & Monteiro, 2013; Oro & Guirro, 2014).

### **Nitrogênio total**

Os teores de nitrogênio total apresentaram, para ambas as camas, um comportamento quadrático crescente em função do ciclo de utilização da cama, independente da temperatura utilizada (Tabela 4). O aumento no teor de nitrogênio total com o aumento no número de ciclos de utilização da cama ocorre devido ao incremento de nitrogênio na cama ao longo dos ciclos de criação, devido a carga de dejetos que é depositada em cada nova utilização da cama.

Tabela 3. Equações ajustadas para descrever o comportamento do nitrogênio total da cama de maravalha e casca de café em função do ciclo de utilização

Condição	Equação	R <sup>2</sup>	EPE
<i>Cama de maravalha</i>			
Inicial	$NT = 4,41 + 18,12 \times C - 2,52 \times C^2$	0,95	2,96
25 °C	$NT = 4,59 + 20,22 \times C - 3,01 \times C^2$	0,91	3,98
30 °C	$NT = 2,69 + 20,11 \times C - 2,97 \times C^2$	0,99	0,37
35 °C	$NT = 4,39 + 20,26 \times C - 3,07 \times C^2$	0,90	4,20
40 °C	$NT = 11,57 + 11,46 \times C - 1,36 \times C^2$	0,82	5,01
<i>Cama de casca de café</i>			
Inicial	$NT = 34,95 - 2,86 \times C + 0,73 \times C^2$	0,83	2,71
25 °C	$NT = 40,97 - 5,92 \times C + 1,16 \times C^2$	0,91	1,61
30 °C	$NT = 37,22 - 5,74 \times C + 1,18 \times C^2$	0,82	2,56
35 °C	$NT = 37,69 - 5,19 \times C + 1,05 \times C^2$	0,74	2,73
40 °C	$NT = 36,64 - 4,57 \times C + 0,99 \times C^2$	0,76	2,78

NT= nitrogênio total (g.kg<sup>-1</sup>); C=ciclo de utilização; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação;

EPE = erro padrão da estimativa.

De acordo com as condições experimentais deste estudo, quando as camas foram submetidas aos diferentes tratamentos térmicos, passaram a ocorrer somente perdas por volatilização de amônia, sem nenhuma forma de incremento de nitrogênio. Conseqüentemente, observa-se que os maiores teores de nitrogênio total foram observados em temperaturas mais baixas, sendo tal comportamento mais destacado para as camas de maravalha. Assim maiores temperaturas do ar influenciam nas perdas de nitrogênio para o ambiente ao favorecerem a volatilização de amônia, conforme relatado por diversos autores (França et al., 2014; Gay & Knowlton, 2009).

## Nitrogênio amoniacal

A concentração de nitrogênio amoniacal comportou-se de forma quadrática crescente em função dos ciclos de utilização para os dois tipos de cama, independentemente da temperatura testada (Tabela 4). No presente estudo, para ambas as camas, maravalha e casca de café, os valores de nitrogênio amoniacal corresponderam a cerca de 25% do nitrogênio total, esse resultado é próximo ao valor de 30% do nitrogênio total que é volatilizado na forma de nitrogênio amoniacal, segundo Atia (2008).

Tabela 4. Equações ajustadas para o comportamento dos dados do nitrogênio amoniacal de cama de maravalha em função do ciclo de utilização da cama

Condição	Equação	R <sup>2</sup>	EPE
<i>Cama de maravalha</i>			
Inicial	$NA = 2,50 + 4,28 \times C - 0,64 \times C^2$	0,99	0,17
25 °C	$NA = 5,17 + 2,08 \times C - 0,29 \times C^2$	0,97	0,25
30 °C	$NA = 3,51 + 3,96 \times C - 0,59 \times C^2$	0,97	0,41
35 °C	$NA = 4,43 + 2,93 \times C - 0,43 \times C^2$	0,87	0,72
40 °C	$NA = 4,69 + 3,20 \times C - 0,46 \times C^2$	0,92	0,63
<i>Cama de casca de café</i>			
Inicial	$NA = 6,36 + 0,95 \times C - 0,09 \times C^2$	0,89	0,29
25 °C	$NA = 5,87 + 1,33 \times C - 0,14 \times C^2$	0,91	0,30
30 °C	$NA = 5,56 + 1,41 \times C - 0,14 \times C^2$	0,89	0,39
35 °C	$NA = 5,32 + 1,61 \times C - 0,17 \times C^2$	0,86	0,49
40 °C	$NA = 6,07 + 1,36 \times C - 0,13 \times C^2$	0,81	0,57

NA= nitrogênio amoniacal (g.kg<sup>-1</sup>); C=ciclo de utilização; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; EPE = erro padrão da estimativa.

Os maiores valores de nitrogênio amoniacal, tanto para maravalha quanto para casca de café, foram observados no tratamento de 40°C (Figura 3), mostrando novamente que a temperatura elevada contribui para o maior potencial de geração de amônia.

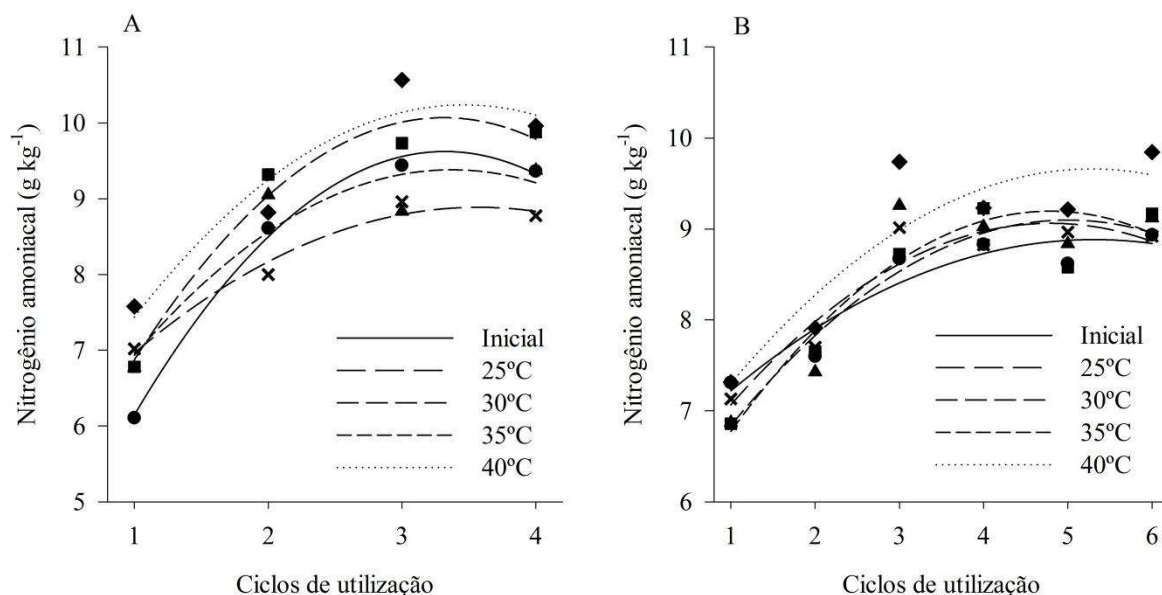


Figura 3. Nitrogênio amoniacal das camas de maravalha (A) e casca de café (B) para os diferentes tratamentos térmicos nos diferentes ciclos de utilização.

Para os dois tipos de camas observa-se um aumento mais expressivo nos teores de nitrogênio amoniacal até o terceiro ciclo de utilização e uma tendência de estabilização a partir do terceiro ciclo. Esse aumento no nitrogênio amoniacal mais evidenciado nos primeiros ciclos de utilização pode ser explicado pelo comportamento dos dados referentes aos valores de pH e umidade da cama, os quais apresentaram um comportamento semelhante, sendo mais elevados nos primeiros ciclos, o que favoreceu tanto a decomposição do ácido úrico, levando a formação de NH<sub>3</sub>, quanto a própria conversão de NH<sub>4</sub> em NH<sub>3</sub>. Todos esses fatores em conjunto colaboraram com o maior

potencial de geração de amônia na cama. Esses resultados corroboram com Marín et al. (2015), que ao avaliar camas de casca de café e maravalha fina com até quatro ciclos de utilização concluíram que os valores de nitrogênio amoniacal das camas aviárias tendem a aumentar em cada reutilização da cama.

## **CONCLUSÕES**

Para ambas as camas aviárias analisadas, os teores de umidade e os valores de pH diminuíram em função do ciclo de utilização, independente da temperatura do ar testada. Enquanto os valores de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal apresentaram comportamento crescente em função do aumento no número de ciclos de reutilização da cama aviária nas diferentes temperaturas do ar avaliadas.

O aumento no número de ciclos de utilização de camas aviárias contribui com o aumento das emissões de amônia nas instalações de produção de frangos de corte, principalmente quando ocorrem condições de temperaturas do ar superiores a 25°C, no interior dessas instalações.

## **AGRADECIMENTOS**

À Capes, Fapemig e CNPq.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alvarez VH (1992) Caracterização química do solo. Viçosa, MG.

AOAC (2005) Official methods of analysis of the AOAC - Association of Official Analytical Chemists, 18.ed. ed. Gaithersburg, Maryland.

APHA (2002) American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 22a.ed. ed, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, D.C, USA.

- Atia A (2008) Ammonia Volatilization from Manure Application. AGRI-FACTS 3–6.
- Bittman S, Jones K, Vingarzan R, Hunt DE, Sheppard SC, Tait J, So R, Zhao J (2015) Weekly agricultural emissions and ambient concentrations of ammonia : Validation of an emission inventory. *Atmospheric Environment* 113(1):108–117. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.038>
- Calvet S, Gates RS, Zhang G, Estellés F, Ogink NWM, Pedersen S, Berckmans D (2013) Measuring gas emissions from livestock buildings: A review on uncertainty analysis and error sources. *Biosystems Engineering* 116(3):221–231. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.11.004>
- EMBRAPA (1997) Manual de métodos de análise de solos, 2<sup>a</sup>. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. 212p.
- Felix EP, Cardoso AA (2004) Amônia (NH<sub>3</sub>) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. *Química Nova* 27(1):123–130.
- França LGF, Tinôco IFF, Mendes MSA, Coelho DJR (2014) Caracterização de fatores que influenciam a emissão de amônia pelos dejetos de galinhas poedeiras e proposição de um score para o potencial máximo de emissão, In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. CONBEA 2014, Campo Grande, p. 4.
- Freitas LW, Garcia RG, Nääs IA, Caldara FR, Lima NDS (2011) Volatilização de amônia em diferentes tipos de cama para frangos de corte. *BioEng, Tupã* 5(3):142–151.
- Gay SW, Knowlton KF (2009) Ammonia emissions and animal agriculture, Virginia Cooperative Extension. Virginia State, Petesburg.
- Gericke D, Pacholski A, Kage H (2011) Measurement of ammonia emissions in multi-plot field experiments. *Biosystems Engineering* 108(2):164–173. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.11.009>
- Groot Koerkamp PWG, Metz JHM, Uenk GH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW,

Short JL, White RPP, Hartung J, Seedorf J, Schröder M, Linkert KH, Pedersen S, Takai H, Johnsen JO, Wathes CM (1998) Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1):79–95. DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1998.0275>

Lima KAO, Moura DJ, Carvalho TMR, Bueno LGF, Vercellino RA (2011) Ammonia emissions in tunnel-ventilated broiler houses. *Brazilian Journal of Poultry Science* 13(4):265–270. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2011000400008>

Liu Z, Wang L, Beasley DB, Shah SB (2009) Modelling ammonia emissions from broiler litter at laboratory scale. *Transactions of the ASABE* 52, 1683–1694.

Marín OLZ, Tinôco IFF, Saraz JAO, Souza CF, Vieira MFA (2015) Evaluation of the fertilizer and contamination potential of different broiler litter types subjected to various use cycles. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 68(2):7637–7646. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v68n2.50967>

Mendes LB, Tinoco IFF, Ogink NWM, Rocha KSO, Saraz JAO, Santos MS (2014) Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18(11):1179–1185. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1179-1185>

Menegali I, Tinoco IFF, Zolnier S, Carvalho CCS, Guimaraes MCC (2012) Influence of different systems of minimum ventilation on air quality. *Eng. Agríc., Jaboticabal* 32(6):1024–1033.

Ndegwa PM, Hristov AN, Arogo J, Sheffield RE (2008) A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. *Biosystems Engineering* 100(4):453-469. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.010>

Ogink NWM, Mosquera J, Calvet S, Zhang G (2013) Methods for measuring gas

emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. *Biosystems Engineering* 116(3):297-308. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.005>

Oliveira PAV, Monteiro ANTR (2013) Emissão de amônia na produção de frangos de corte, in: FACTA (Ed.), Conferência FACTA. Campinas, 11p.

Oro C, Guirro ECBP (2014) Influência da amônia proveniente da cama aviária sobre o bem-estar de frangos de corte. *Veterinária em Foco* 12(1):49–63.

Osorio-Saraz JA, Ferreira-Tinoco IFF, Gates RS, Oliveira-Rocha KS, Combatt-Caballero EM, Campos-de-Sousa F (2014) Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. *Dyna* 81(187):137–143. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n187.40806>

Osorio Hernandez R, Tinoco IFF, Osorio JA, Souza CF, Coelho DJR, Sousa FC (2016) Calidad del aire en galpón avícola con ventilación natural durante la fase de pollitos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20(7):660–665. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n7p660-665>

Reidy B, Webb J, Misselbrook TH, Menzi H, Luesink HH, Hutchings NJ, Eurich-Menden B, Döhler H, Dämmgen U (2009) Comparison of models used for national agricultural ammonia emission inventories in Europe: Litter-based manure systems. *Atmospheric Environment* 42(14):1632–1640. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.12.015>

Saraz JAO, Tinôco IFF, Gates RS, Paula MO, Mendes LB (2013) Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. *Dyna* 80(178):51–60.

SAS Institute Inc. (2008). SAS/STAT(r) 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Singh A, Bicudo JR, Tinôco AL, Tinôco IFF, Gates RS, Casey KD, Pescatore AJ (2004) Characterization of Nutrients in Built-up Broiler Litter Using Trench and Random Walk Sampling Methods. *Journal of Applied Poultry Research* 13(3):426–432. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/japr/13.3.426>

Tasistro AS, Cabrera ML, Ritz CW, Kissel DE (2008) Manipulating bedding materials and PLT to reduce NH<sub>3</sub> emissions from broiler manure. *Bioresource Technology* 99(6):1952–1960. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.057>

Tinôco IFF (2001) Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 3(1):1–24. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2001000100001>

Vogels GD, Drift CVD (1976) Degradation of Purines and Pyrimidines by Microorganisms. *Bacteriological Reviews* 40(2):403–468.

Zhao L, Hadlocon LJS, Manuzon RB, Darr MJ, Keener HM, Heber AJ, Ni J (2016) Ammonia concentrations and emission rates at a commercial poultry manure composting facility. *Biosystems Engineering* 150(1):69–78. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.07.006>

## **ARTIGO VII**

### **POTENCIAL DE GERAÇÃO E EMISSÃO DE AMÔNIA DE CAMAS AVIÁRIAS DE MARAVALHA E CASCA DE CAFÉ**

*Artigo submetido na “Revista Engenharia Agrícola” ISSN 1809-4430*

## **POTENCIAL DE GERAÇÃO E EMISSÃO DE AMÔNIA DE CAMAS**

### **AVIÁRIAS DE MARAVALHA E CASCA DE CAFÉ**

**RESUMO:** Objetivou-se com o presente estudo determinar os potenciais de geração e emissão de amônia das camas aviárias de maravalha e casca de café com diferentes ciclos de utilização e submetidas a diferentes temperaturas do ar. Para este estudo, foram tomadas amostras de camas aviárias provenientes de trinta aviários comerciais, situados na Zona da Mata Mineira. As camas eram constituídas por maravalha (com até quatro ciclos de utilização) ou casca de café (com até seis ciclos de utilização) e foram tomadas três repetições de cada. O potencial de geração de amônia foi baseado no teor de nitrogênio amoniacal das camas, enquanto o potencial de emissão de amônia foi baseado no fluxo de amônia. Os potenciais foram avaliados após as amostras de cama aviária serem submetidas as diferentes temperaturas do ar (25, 30, 35 e 40°C), por um período de 24 horas. As equações múltiplas desenvolvidas nesta pesquisa para predição do potencial de geração e emissão de amônia para camas aviárias (maravalha e casca de café) apresentaram incremento quadrático em função ciclos de utilização e linear em função da temperatura do ar. Os modelos apresentaram elevada acurácia demonstrada pela técnica de validação cruzada, demonstrando constituírem modelos que podem ser utilizados para estimar o potencial de geração e emissão de amônia.

**Palavras-chave:** emissão de gases, modelagem ambiental, qualidade do ar na produção animal

## **POTENTIAL GENERATION AND EMISSION AMMONIA OF SHAVINGS**

### **BED AND COFFEE HUSKS BED UNDER DIFFERENT AIR TEMPERATURES**

**ABSTRACT:** The objective was to determine the potential of generation and emission of ammonia of avian beds of shavings and coffee husks, with different reuse cycles and subjected to different air temperatures. Samples of avian beds of thirty commercial aviaries, located in the region of Zona da Mata Mineira were investigated. Samples of avian bed substrate were taken (shavings bed up to four reuse cycles and coffee husks bed up to six reuse cycles) in three replicates each. The ammonia generation potential was based on the ammonia nitrogen content and the ammonia emission potential based on the ammonia flow. The potentials were evaluated after subjected the bed samples to different air temperatures (25, 30, 35 and 40 ° C) for a period of 24 hours. The multiple equations developed in this study to predict the potential of generation and emission of ammonia of poultry beds, had a quadratic increment according to the numbers of reuse cycles and a linear increment according to the air temperature. The models presented a high accuracy by cross-validation, demonstrating constitute models that can be used to estimate the ammonia generation and emission potential.

**Keywords:** air quality in animal production, environmental modeling, gas emissions

## **INTRODUÇÃO**

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de carne de frango, possuindo um plantel com mais de um bilhão de cabeças de frangos de corte (IBGE, 2017), sendo que, ao mesmo tempo, mantém, há mais de uma década, a posição de maior exportador deste tipo de carne, no planeta, embarcando para mais de 150 países (ABPA, 2017).

O setor de frangos de corte brasileiro emprega mais de 3,5 milhões de trabalhadores, direta e indiretamente, sendo responsável por quase 1,5% do Produto Interno Bruto (PIB), constituindo liderança em qualidade e em sustentabilidade (ABPA, 2017; IBGE, 2017). A indústria avícola nacional possui programas de controle

ambiental para diminuir o impacto de suas atividades ao meio ambiente, tais como para redução do consumo de energia e de emissões de gases de efeito estufa (ABPA, 2017).

Neste último aspecto, muitos trabalhos têm recorrentemente demonstrando que a qualidade do ar constitui um dos principais fatores que devem ser garantidos pela produção avícola. Uma vez que os poluentes aéreos, naturalmente formados no interior das instalações, dependendo de suas concentrações, podem alterar as características ideais do ar ambiente. Além de favorecer a susceptibilidade, tanto dos animais quanto dos trabalhadores, à doenças, afetando a performance produtiva do lote e gerando prejuízos na produção. Ainda pode comprometer a qualidade do ar das áreas externas aos aviários e do meio ambiente de uma forma mais ampla (Calvet et al., 2013; Gates et al., 2008; Mendes et al., 2014; Ogink et al., 2013; Osorio Hernandez et al., 2016; Saraz et al., 2013).

Com base no exposto, um aspecto de suma importância a considerar é que, não existe ainda, para nenhuma região do mundo, um indicativo relacionado ao nível potencial de geração ou emissão de amônia dos ambientes de produção animal. Ou seja, ainda não se estabeleceu, de forma satisfatória, níveis ou limites máximos ou mínimos esperados de concentração de gases poluentes, tais como a amônia. Desta forma, o estabelecimento de padrões ou índices de emissões considerados aceitáveis, ou não, para cada instalação específica, fica impossibilitado. Simultaneamente, com base na predição do potencial de geração e emissão de amônia pela produção de frangos de corte, torna-se possível a avaliação do nível poluidor de uma determinada granja avícola, servindo assim como balizador para valores mais justos na dosimetria de multas, ou ainda, pelo contrário, para incentivos fiscais.

Torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de modelos de predição do potencial de geração e emissão de amônia para a indústria avícola de corte. Tais modelos poderiam ser utilizados na construção de inventários confiáveis de emissões de

amônia e nas estratégias de controle de emissões, ainda tão deficitários no Brasil e em outras regiões do mundo, podendo ainda contribuir para melhorar a precisão e a simplicidade das estimativas, reduzindo assim a necessidade das medições, que na maior parte dos casos, são complexas e dispendiosas (Liu et al., 2009).

Sendo assim, objetivou-se com esse trabalho desenvolver e avaliar modelos de predição dos potenciais de geração e emissão de amônia pela avicultura de corte brasileira, com sistema de criação em cama aviária, constituída por substratos de uso comum no país (maravalha e casca de café), com diferentes ciclos de utilização e submetidas a diferentes valores de temperaturas do ar.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Coleta das amostras de cama nos aviários**

Na primeira etapa deste trabalho foram coletadas amostras de diferentes tipos de cama aviária, com diferentes ciclos de reutilização. As amostras de cama foram provenientes de instalações para produção de frangos de corte, com as mesmas tipologias construtivas, representativas da avicultura industrial do estado de Minas Gerais, típicas dos padrões adotados nos países de clima quente. Os galpões possuíam as seguintes características construtivas: orientação da cumeeira no sentido leste-oeste, largura entre 12 e 14 metros, pé-direito de 2,8 a 3,2 metros, comprimento entre 100 e 140 metros, laterais com muretas de 20 cm e fechamento com telas e cortinas plásticas móveis e providos de comedouros e bebedouros automáticos.

O sistema de criação era constituído por cama sobreposta ao piso, onde eram utilizados, predominantemente, animais machos da linhagem Cobb, com densidade de alojamento entre 14 e 18 aves/m<sup>2</sup>. Os galpões permaneciam predominantemente abertos e continham sistema de ventilação por pressão positiva, com ventiladores axiais dispostos nas laterais dos galpões, os quais eram acionados de acordo com a

necessidade de controle da temperatura interna. Os galpões estavam submetidos a condições climáticas similares, localizados na Mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais, nas microrregiões de Viçosa, Ubá, Cataguases e Muriaé.

A alimentação dos animais foi formulada utilizando-se o conceito de proteína ideal, que é o balanceamento mais utilizado na maior parte da indústria de produção de frangos de corte, com objetivo de atender as exigências de aminoácidos, sem que haja excesso de proteína que possa resultar em aumento de excreção de nitrogênio e emissão de amônia (Campos et al., 2012). De acordo com as análises realizadas em amostras das rações utilizadas, o teor de proteína bruta foi em média de 21%.

As coletas foram realizadas durante a última semana de criação, período esse compreendido entre 35 e 42 dias de vida dos frangos. Com a finalidade de obter amostras homogêneas, representativas e com a presença da maior carga de dejetos possível na cama.

Foram avaliadas camas aviárias constituídas por dois tipos de substratos, maravalha fina e casca de café. A maravalha por ser considerada o substrato padrão para cama e a casca de café por ser o material alternativo mais comumente utilizado nas mencionadas regiões, em função da sua maior disponibilidade e menor custo. As camas de maravalha eram reutilizadas por até quatro ciclos e as camas de casca de café por até seis ciclos.

Para cada um dos diferentes tipos de cama e ciclos de utilização foram coletadas amostras de três galpões, constituindo-se assim em três repetições e totalizando na coleta de amostras em 30 aviários. Em cada um foram coletadas amostras simples em 20 diferentes pontos pré-determinados, distribuídos ao longo de toda a extensão do galpão, representativos de toda a área de alojamento, evitando-se áreas próximas ou sobre comedouros e bebedouros (Singh et al., 2004). Cada ponto de coleta amostral correspondeu a área circular de 20 cm de raio e 10 cm de profundidade. As amostras

simples eram coletadas com auxílio de trado e pá. Dessas amostras simples era formada uma única amostra composta, descompactada, homogeneizada e armazenada em saco plástico devidamente identificado. Após a coleta, a amostra composta era imediatamente encaminhada para as câmaras climáticas onde foi desenvolvido o experimento e a seguir para os laboratórios para análise físico-química.

### **Condução do experimento em câmaras climáticas**

O experimento foi conduzido em câmaras climáticas, com as dimensões de  $2,4 \times 3,3 \times 2,5$  m (altura, comprimento e largura), localizadas na área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ambiente e Engenharia de Sistemas Agroindustriais (AMBIAGRO), da área de Construções Rurais e Ambiente do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Cada câmara climática era equipada com um aparelho condicionador de ar tipo quente/frio de 12000 BTU/h, um aquecedor de resistência elétrica, com potência de 2000 W e um umidificador de ar com débito de névoa na faixa de 300 mL/h. O condicionador, o aquecedor e o umidificador de ar eram acionados ou desligados por controlador digital eletrônico de temperatura e umidade (MT-531Ri plus), de acordo com valores pré-estabelecidos. A renovação do ar no interior das câmaras climáticas era feita por meio de exaustores axiais, acionados automaticamente.

Cada uma das amostras compostas coletas nos aviários, dos diferentes tipos de camas com diferentes ciclos de reutilização, foi disposta individualmente em caixas plásticas retangulares com volume de 20 L e as seguintes dimensões: 60 cm de comprimento, 38 cm de largura e 16 cm de altura. As caixas eram preenchidas com cama até a altura de 10 cm, conforme a profundidade adotada na indústria avícola. No centro da caixa era posicionado o equipamento para fixação da amônia volatilizada, conforme metodologia SMDAE (Osorio-Saraz et al., 2014). O material permanecia no

interior das câmaras climáticas, submetido às diferentes temperaturas, por um período de 24 horas.

Foram avaliadas quatro temperaturas do ar, sendo: 25, 30, 35 e 40°C. Em todas as câmaras climáticas foram adotadas a mesma faixa de umidade relativa do ar, considerada ideal para o conforto animal, entre 40 e 70% (Baêta & Souza, 2010; Tinôco, 2001). A taxa de renovação do ar também foi a mesma em todas as câmaras climáticas, adotando-se a ventilação higiênica, com seis renovações de ar por hora (Menegali et al., 2012). Assim, todos os fatores ambientais estiveram de acordo com o mais comumente praticado na produção industrial avícola brasileira.

#### Quantificação do nitrogênio amoniacal da cama

Para determinar o nitrogênio amoniacal foi utilizado o método Kjeldhal (AOAC, 2005), porém, conforme sugerido por APHA et al. (2002), só foram realizados os processos de destilação e titulação das amostras.

#### Emissão de amônia

O fluxo de emissão de amônia das camas foi determinado segundo a metodologia SMDAE (Osorio-Saraz et al., 2014) durante o período de 24 horas de exposição das camas aos diferentes tratamentos. Para captura da amônia foi utilizado um tubo de PVC com 20 cm de diâmetro e 30 cm de altura com duas esponjas de poliuretano com 20 cm de diâmetro cada e uma espessura de 2 cm, posicionadas no interior do tubo, uma a 10 cm, utilizada na quantificação, e outra a 30 cm da base do coletor de PVC, para evitar contaminação do ambiente externo. Para fixar a amônia volatilizada, cada esponja foi impregnada com 25 ml de solução composta de ácido sulfúrico ( $1 \text{ molL}^{-1}$ ) e glicerina (3%).

Após o período de captura de amônia, a esponja posicionada na parte mais baixa no interior do tubo era colocada em saco plástico devidamente identificado e levado ao laboratório, adicionando-se 80 mL de solução de cloreto de potássio ( $KCl\ 0,5\ molL^{-1}$ ) e 40 mL de água destilada. Procedeu-se o processo de destilação desta solução misturada com a esponja nos tubos de ensaio até completar  $\pm 75\ mL$  de solução no erlenmeyer com 15 mL de solução de ácido bórico colocado previamente para coletar a mistura destilada. Após a destilação, a amostra condensada foi titulada com ácido clorídrico (HCl) na concentração de  $1,0\ molL^{-1}$ .

A concentração de  $NH_3$  (g  $NH_3$ ) capturada pela esponja foi obtida pelo volume da solução de diluição (mL), a concentração da solução usada na titulação ( $mol\ L^{-1}$ ) e o número de moles de  $NH_3$ . O fluxo de amônia SMDAE foi obtido segundo a Equação 1.

$$SMDAE\ (mgNH_3\ m^{-2}s^{-1}) = \frac{NH_3}{At} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: SMDAE – Fluxo de  $NH_3$ ;  $NH_3$  – Massa de  $NH_3$  (mg  $NH_3$ ); A – Área do material absorvente ( $m^2$ ); t – Período de exposição (s).

### **Potencial de geração e emissão de amônia**

O potencial de geração de amônia foi baseado no teor de nitrogênio amoniacal, uma vez que este é constituído por amônia livre ( $NH_3$ ) e íons de amônio ( $NH_4^+$ ) que podem ser convertidos a amônia dependendo das condições de umidade e pH da cama (Liu et al., 2009).

O potencial de emissão foi baseado no fluxo de emissão de amônia calculado pelo método SMDAE que é um método considerado eficiente para determinar o fluxo de amônia em instalações com ventilação natural (Osorio-Saraz et al., 2014).

## **Delineamento experimental e análises estatísticas**

O experimento foi conduzido e analisado segundo um delineamento inteiramente casualizado, seguindo um esquema fatorial 4×4 para a cama de maravalha (sendo 4 ciclos de utilização da cama e 4 diferentes temperaturas, 25, 30, 35 e 40°C); e um esquema fatorial 6×4 para a cama de casca de café (sendo 6 ciclos de utilização da cama e 4 diferentes temperaturas, 25, 30, 35 e 40°C). As análises foram conduzidas separadamente para as camas de maravalha e casca de café, devido ao diferente número de ciclos de utilização obtidos para cada tipo de cama.

Primeiramente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), a fim de verificar o efeito de interação entre os ciclos de utilização e as temperaturas utilizadas. A análise foi conduzida através do procedimento *MIXED* do SAS (SAS Institute Inc., 2008), sendo adotado um nível de significância de 0,05.

A fim de estimar os potenciais de geração e emissão de amônia, foram ajustadas equações múltiplas em função do ciclo de utilização e da temperatura, sendo testados os efeitos linear, quadrático e cúbico destas variáveis. Subsequentemente, os modelos foram reduzidos através da exclusão de variáveis não significativas utilizando o método “backward”. Todas as equações foram ajustadas utilizando-se o procedimento *REG* do SAS (SAS Institute Inc., 2008), considerando um nível de significância de 0,05.

## **Validação das equações múltiplas**

Para avaliar a adequação das equações múltiplas desenvolvidas para estimar os potenciais de geração e emissão de amônia, foi realizada uma análise de validação cruzada (Efron and Tibshirani, 1998). A análise foi realizada a partir de 1000 simulações, utilizando-se a função linear de mínimos quadrados do R (R Development Core Team, 2015) e os pacotes “*boot*” e “*mass*”. Para cada simulação, o banco de dados original foi aleatoriamente dividido em dois novos subconjuntos, com aproximadamente

o mesmo tamanho. O primeiro subconjunto (subconjunto de geração) foi utilizado para obter as estimativas e o segundo subconjunto (subconjunto de teste) foi utilizado para testar as estimativas, a fim de obter as mensurações de adequação estatística. Depois de cada simulação, o banco de dados era reorganizado, e todo o processo repetido 1000 vezes, para se tomar a média das estatísticas de adequação.

Estes resultados foram utilizados para estimar a acurácia e precisão das equações desenvolvidas, através do quadrado médio do erro de predição (*QMEP*), coeficiente de correlação e concordância (*CCC*) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O *QMEP* foi decomposto em três principais fontes de variação: (1) desvio médio, que representa a tendência central do desvio; (2) desvio sistemático, que representa o desvio da inclinação de 1; e (3) erro aleatório, que representa variações que não são explicadas pela regressão (Tedeschi, 2006).

O *CCC* foi usado para acessar, simultaneamente, a acurácia e precisão das equações, e foi decomposto em coeficiente de correlação estimado ( $\rho$ ) que estima a precisão do modelo e o fator de correção do desvio ( $C_b$ ) que indica a acurácia das equações. Os valores de *CCC*,  $\rho$  e  $C_b$  variaram de 0 a 1, onde valores próximos de 1 indicam equações precisas/acuradas (Lin, 1989; Tedeschi, 2006).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Potencial de geração de amônia**

O potencial de geração de amônia para camas aviárias de maravalha e casca de café com diferentes ciclos de utilização e submetidas a diferentes temperaturas do ar pode ser determinado por meio das equações múltiplas de predição de geração de amônia (Equações 2 e 3, maravalha e casca de café, respectivamente) em função da temperatura e do ciclo de utilização. O processo “backward” de seleção de variáveis apontou significância somente para os efeitos linear e quadrático do ciclo de utilização e

linear para temperatura, adicionalmente não foi observado ( $P > 0.05$ ) significância do intercepto para nenhum dos modelos abaixo.

$$\text{Geração de NH}_3 \text{ maravalha} = 0,028 T + 6,301 C - 1,059 C^2 \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Geração de NH}_3 \text{ casca de café} = 0,046 T + 4,247 C - 0,512 C^2 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:  $\text{NH}_3$  = amônia ( $\text{g.kg}^{-1}$ ); T = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ); C = ciclos de utilização.

A validação cruzada indicou uma acurácia alta para ambos os modelos de geração de amônia através dos valores de  $C_b$  de 0,970 e 0,978, para cama de maravalha e casca de café, respectivamente. Além disso, a partição do  $QMEP$  indicou baixos erros de predição associado às variáveis fixas pois a maior parte dos erros de predição foi associada a erros aleatórios de 63,76 e 82,53%, para maravalha e casca de café, respectivamente. As equações apresentaram precisão moderada e baixa com valores de  $R^2$  de 0,559 e 0,265 e  $\rho$  valores de 0,747 e 0,514, que produziram valores de  $CCC$  moderados, de 0,722 e 0,497, para maravalha e casca de café, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Mensurações de adequação dos modelos para a predição de geração de amônia em cama de maravalha e casca de café estimados pela técnica de validação cruzada

Item	Maravalha	Casca de café
Partição do <i>QMEP</i> (%)		
Desvio médio	2,94	1,58
Desvio sistemático	33,29	15,88
Erro aleatório	63,76	82,53
<i>CCC</i> (variando de 0 a 1)	0,722	0,497
$\rho$ (precisão)	0,747	0,514
$C_b$ (acurácia)	0,970	0,978
$R^2$	0,559	0,265

*QMEP* = Quadrado médio do erro de predição; *CCC* = Coeficiente de correlação e concordância;  $\rho$  = Coeficiente de correlação estimado;  $C_b$  = Fator de correção do desvio;  $R^2$  = Coeficiente de determinação.

O modelo de predição do potencial de geração de amônia para cama de maravalha apresentou elevada acurácia e precisão moderada a baixa (Figura 1A), enquanto que o modelo de predição do potencial de emissão de amônia para cama de casca de café apresenta elevada acurácia e moderada precisão (Figura 1B). Contudo, a elevada acurácia demonstrada pelas equações, tanto na cama de maravalha quanto na casca de café, indica que as equações são adequadas para serem utilizadas na estimativa da geração de amônia, uma vez que a acurácia é a medida mais importante para um modelo de predição por representar a capacidade do modelo de prever valores reais (Tedeschi, 2006).

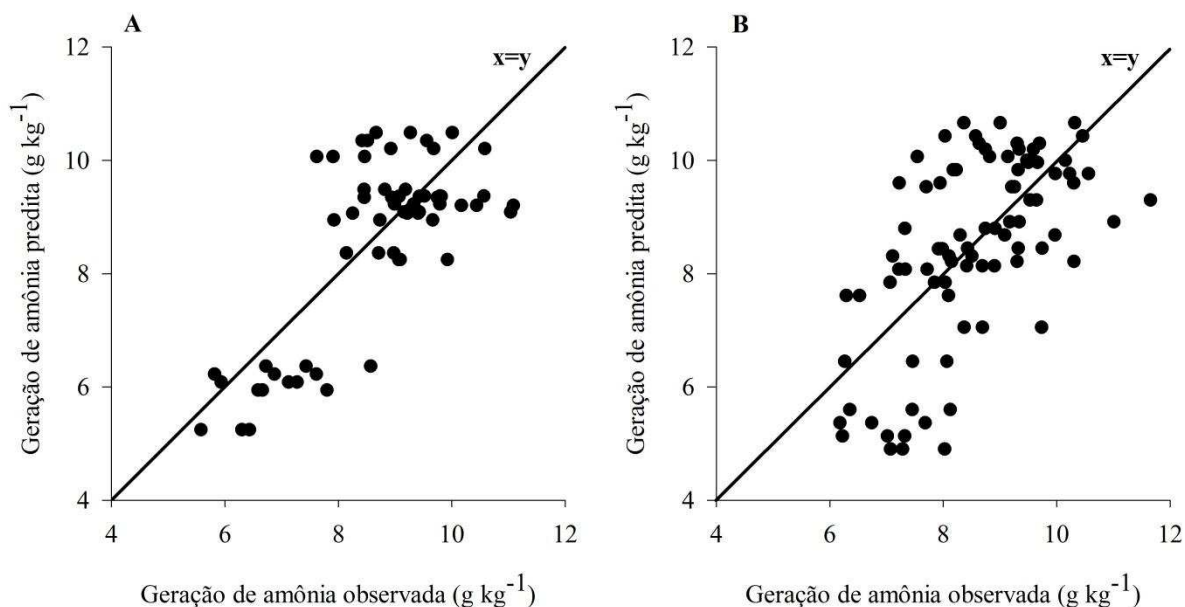


Figura 1. Representação dos modelos de predição do potencial de geração de amônia para cama de maravalha (A) e casca de café (B).

### Potencial de emissão de amônia

O potencial de emissão de amônia a partir das camas aviárias de maravalha e casca de café, submetidas a diferentes temperaturas do ar, pode ser determinado segundo as equações múltiplas de predição da emissão de amônia (Equações 4 e 5) em função da temperatura do ar e do ciclo de utilização da cama. Observou-se significância para os efeitos linear e quadrático do ciclo de utilização e linear para temperatura, de acordo com o processo “backward” de seleção de variáveis, adicionalmente não se observou ( $P > 0,05$ ) efeito significativo do intercepto para nenhum dos modelos abaixo.

$$\text{Emissão de NH}_3 \text{ maravalha} = 0,00031 T - 0,00280 C + 0,00086 C^2 \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{Emissão de NH}_3 \text{ casca de café} = 0,00024 T - 0,00014 C + 0,00023 C^2 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: T = temperatura do ar (°C); C = ciclos de utilização.

A validação cruzada indicou uma acurácia alta para ambos os modelos de predição de emissão de amônia através dos valores de  $C_b$  de 0,970 e 0,997, para cama de maravalha e casca de café, respectivamente. Além disso, a partição do *QMEP* indicou baixos erros de predição associados às variáveis fixas pois a maior parte dos erros de predição foi associada a erros aleatórios de 91,47 e 96,54%, para maravalha e casca de café, respectivamente. As equações apresentaram precisão moderada a alta com valores de  $R^2$  de 0,792 e 0,861 e  $\rho$  valores de 0,889 e 0,927, que produziram altos valores de *CCC* de 0,863 e 0,924, para maravalha e casca de café, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Mensurações de adequação dos modelos para a predição da emissão de amônia em cama de maravalha e casca de café, estimados pela técnica de validação cruzada

Item	Maravalha	Casca de café
Partição do <i>QMEP</i> (%)		
Desvio médio	2,51	1,48
Desvio sistemático	6,02	1,97
Erro aleatório	91,47	96,54
<i>CCC</i> (variando de 0 a 1)	0,863	0,924
$\rho$ (precisão)	0,889	0,927
$C_b$ (acurácia)	0,970	0,997
$R^2$	0,792	0,861

*QMEP* = Quadrado médio do erro de predição; *CCC* = Coeficiente de correlação e concordância;  $\rho$  = Coeficiente de correlação estimado;  $C_b$  = Fator de correção do desvio;  $R^2$  = Coeficiente de determinação.

O modelo de predição da emissão de amônia para cama de maravalha apresentou elevada acurácia e moderada precisão (Figura 2A), por outro lado, o modelo de predição desenvolvido para cama de casca de café apresentou elevada acurácia e elevada precisão (Figura 2B).

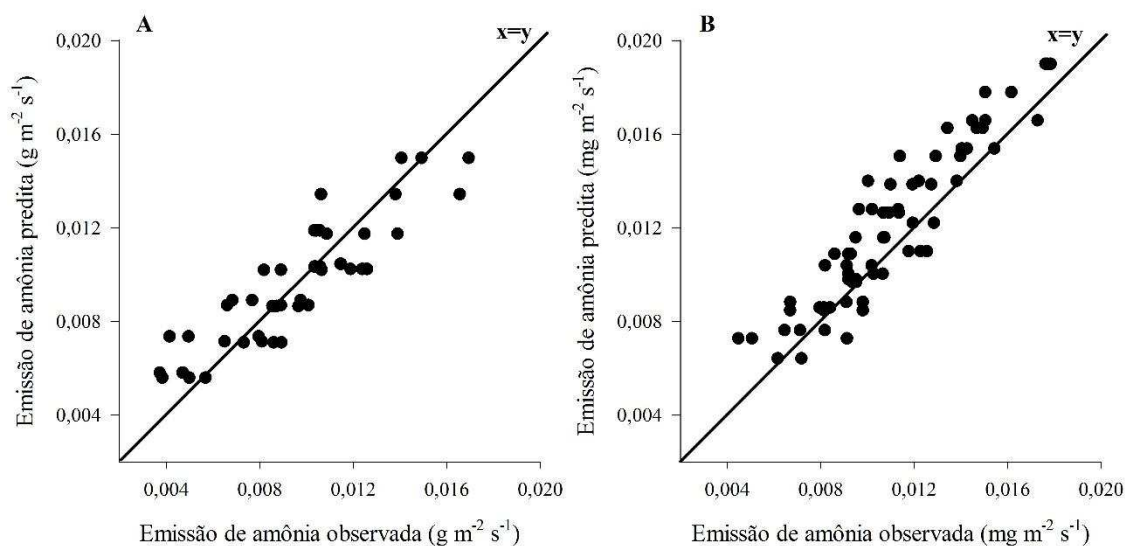


Figura 2. Representação dos modelos de predição de emissão de amônia para cama de maravalha (A) e casca de café (B).

A elevada acurácia demonstrada pelas equações de predição da emissão de amônia, conforme já citado anteriormente para as equações de geração de amônia, tanto na cama de maravalha quanto na casca de café, indica que tais equações são adequadas, uma vez que a acurácia é a medida mais importante para um modelo de predição pois representa a capacidade do modelo de prever valores reais (Tedeschi, 2006).

## CONCLUSÕES

Foram desenvolvidas equações múltiplas de predição do potencial de geração e emissão de amônia para camas aviárias, tendo como variáveis preditoras o número de ciclos de utilização da cama e a temperatura do ar. Tais modelos são adequados para estimar o potencial de geração e emissão de amônia, para as camas de maravalha e

casca de café, pois apresentaram elevada acurácia, constatada através da técnica de validação cruzada.

## **AGRADECIMENTOS**

À Capes, Fapemig e CNPq.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABPA (2017) Relatório Anual da ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal 134.

AOAC (2005) Official methods of analysis of the AOAC - Association of Official Analytical Chemists, 18.ed. ed. Gaithersburg, Maryland.

APHA (2002) American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 22a.ed. ed, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, D.C, USA.

Baêta FC, Souza CF (2010) Ambiência em edificações rurais - Conforto animal. 269p.

Calvet S, Gates RS, Zhang G, Estellés F, Ogink NWM, Pedersen S, Berckmans D (2013) Measuring gas emissions from livestock buildings: A review on uncertainty analysis and error sources. *Biosystems Engineering* 116(3):221–231. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.11.004>

Campos AMA, Rostagno HS, Nogueira ET, Albino LFT, Pereira JPL, Maia RC (2012) Atualização da proteína ideal para frangos de corte: arginina, isoleucina, valina e triptofano. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41(2):326–332. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982012000200014>

Efron B, Tibshirani RJ (1998) *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Florida.

Gates RS, Casey KD, Wheeler EF, Xin H, Pescatore AJ (2008) U.S. broiler housing ammonia emissions inventory. *Atmospheric Environment* 42(14):3342–3350. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.06.057>

IBGE (2017) Indicadores IBGE: Estatísticas da Produção Pecuária, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Junho de 2017.

Lin LI (1989) A Concordance Correlation-Coefficient to Evaluate Reproducibility. *Biometrics* 45(1):255–268. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2532051>

Liu Z, Wang L, Beasley DB, Shah SB (2009). Modelling ammonia emissions from broiler litter at laboratory scale. *Transactions of the ASABE* 52(5):1683–1694.

Mendes LB, Tinoco IFF, Ogink NWM, Rocha KSO, Saraz JAO, Santos MS (2014) Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18(11):1179–1185. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1179-1185>

Menegali I, Tinoco IFF, Zolnier S, Carvalho CCS, Guimaraes MCC (2012) Influence of different systems of minimum ventilation on air quality. *Eng. Agríc., Jaboticabal* 32(6):1024–1033.

Ogink NWM, Mosquera J, Calvet S, Zhang G (2013) Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. *Biosystems Engineering* 116(3):297-308. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.005>

Osorio-Saraz JA, Ferreira-Tinoco IF, Gates RS, Oliveira-Rocha KS, Combatt-Caballero EM, Campos-de-Sousa F (2014) Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. *Dyna* 81(187):137–143. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n187.40806>

Osorio Hernandez R, Tinoco IFF, Osorio JA, Souza CF, Coelho DJR, Sousa FC (2016)

Calidad del aire en galpón avícola con ventilación natural durante la fase de pollitos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20(7):660–665. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n7p660-665>

R Development Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Saraz JAO, Tinôco IFF, Gates RS, Paula MO, Mendes LB (2013) Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. *Dyna* 80(178):51–60.

SAS Institute Inc. (2008). SAS/STAT(r) 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Singh A, Bicudo JR, Tinôco AL, Tinôco IFF, Gates RS, Casey KD, Pescatore AJ (2004) Characterization of nutrients in built-up broiler litter using trench and random walk sampling methods. *Journal of Applied Poultry Research* 13(3): 426–432. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/japr/13.3.426>

Tedeschi LO (2006). Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems* 89(2-3):225–247. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.004>

Tinôco IFF (2001). Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 3(1):1–24. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2001000100001>

## CONCLUSÕES GERAIS

A questão da qualidade do ar e das emissões de gases na produção animal em condição de clima quente, que é a realidade do Brasil e países da América do Sul, ainda é um desafio para a comunidade científica devido a carência de metodologias aplicáveis as instalações predominantemente abertas pois as metodologias já estabelecidas para monitoramento das emissões gasosas são confiáveis somente quando aplicadas nas instalações fechadas.

De certa forma esse trabalho possibilitou um avanço no conhecimento científico através de todas as revisões bibliográficas desenvolvidas, ao abordar as principais fontes de geração e principais danos causados pela emissão de amônia nas instalações de produção animal predominantemente abertas nos países de clima quente. A partir da compilação das metodologias disponíveis para quantificação da concentração e emissão de amônia concluiu-se que o principal problema é a dificuldade na determinação da taxa de ventilação que impede a utilização da maioria das metodologias disponíveis para determinar as emissões nas instalações abertas. E para minimizar as emissões de amônia nas instalações de frangos de corte as principais medidas estão ligadas aos cuidados com a cama aviária e com a ração.

Com o levantamento produtivo da avicultura de corte brasileira foi possível concluir que essa atividade é uma realidade presente ao longo de todo o país e que devido ao fato das instalações permanecerem predominantemente abertas estão sujeitas as condições climáticas de temperatura externa que variam bastante entre as regiões e podem atingir valores elevados que potencializam a emissão de amônia nas instalações.

Avaliando a qualidade do ar em instalações de frangos de corte predominantemente abertas, concluiu-se que a reutilização da cama contribui o aumento de poluentes aéreos e que a cama de casca de café proporciona pior qualidade do ar quando comparada a cama de maravalha.

Ao testar diferentes tipos de cama aviária com diferentes ciclos de reutilização provenientes de instalações típicas de países de clima quente, em diferentes temperaturas do ar concluiu-se que temperaturas mais elevadas e o aumento no número de ciclos de reutilização da cama contribuem tanto com o potencial de geração quanto de emissão de amônia.

Os modelos obtidos nesse estudo para estimar os potenciais de geração e emissão de amônia representam uma contribuição inicial para as estimativas dos

potenciais de emissões para camas aviárias de maravalha e casca de café, com diferentes números de ciclos de utilização, submetidas a diferentes temperaturas do ar.

Para se chegar ao potencial máximo de geração e emissão de amônia na avicultura de corte e possibilitar o estabelecimento de escores para predizer o potencial poluidor de uma instalação, são ainda necessários mais estudos que incluam outros tipos de camas e tantas outras variáveis de influência nos processos de geração e emissão de amônia, diferentes das avaliadas nesse trabalho, como por exemplo: teor de umidade do ar e da cama, velocidade do ar, temperatura da cama, pH da cama, teor de proteína na ração, idade das aves, densidade de alojamento, entre outros.