



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - UAEAg**  
**ÁREA DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA**

**Relatório de Estágio Supervisionado**

***CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE UMIDADE DO SOLO  
PARA A MEDIÇÃO INSTANTÂNEA DO TEOR DE  
UMIDADE NO ESTERCO E  
CAMA DE AVES***

**Luciano Barreto Mendes**

Campina Grande, PB

Outubro de 2007



Universidade Federal  
de Campina Grande

**IOWA STATE UNIVERSITY**

***CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE UMIDADE DO SOLO  
PARA A MEDIÇÃO INSTANTÂNEA DO TEOR DE  
UMIDADE NO ESTERCO E CAMA DE AVES***

**Luciano Barreto Mendes**

Estágio supervisionado apresentado no Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do diploma de graduação em Engenharia Agrícola.

**ÁREA:** **Construções Rurais e Ambiente**

**ORIENTADOR:** **Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento**

**CO-ORIENTADORES:** **Prof. Dr. Hongwei Xin**  
**Dr. Hong Li**

Outubro - 2007



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - UAEAg**  
**ÁREA DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA**

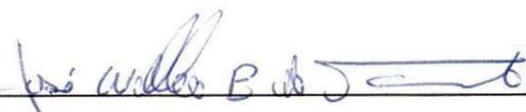
Parecer Final da Julgamento do Estágio Supervisionado

Luciano Barreto Mendes

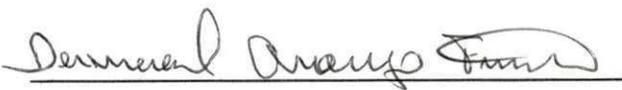
***CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE UMIDADE DO SOLO  
PARA A MEDIÇÃO INSTANTÂNEA DO TEOR DE  
UMIDADE NO ESTERCO E CAMA DE AVES***

**BANCA EXAMINADORA**

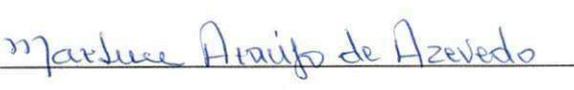
**PARECER**

  
José Wallace Barbosa do Nascimento - Orientador

Aprovado

  
Dermeval Araújo Furtado - Examinador

Aprovado

  
Marluce Araújo de Azevedo - Examinadora

Aprovado



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me fazer existir e experimentar desse grande laboratório que é o mundo. Agradeço a Deus por cada pessoa com quem cruzei nessa ainda curta, mas bela existência e as quais me fizeram sentir mais humano. Agradeço a Deus por ter nascido quem sou e como sou, cheio de defeitos, mas sempre aberto a aprender e a mudar quando for preciso, pois nunca somos de fato, mas sempre estamos sendo. Agradeço ainda a Deus pela capacidade de sonhar, sonhos estes que alimentam a alma e me fazem acordar a cada dia revigorado para viver a vida que me foi dada.

Agradeço a todos os meus amigos por me apoiarem sempre com palavras confortáveis, por serem sinceros quando precisei de sinceridade. Agradeço em especial à Cláudia Germana (*in memoriam*), por ter me ensinado os primeiros passos da pesquisa científica e com quem passava horas conversando sobre a vida e sobre a morte, obrigado! Agradeço a Nicássia e a Edilnete, amigas de segredos; a Adriana, Aldo, Clarice, Conceição, Denise, Edvaldo, Karla, Renê, Sebastião, Shirley, Valneide e tantos outros amigos da Universidade, com quem convivi a maioria do meu tempo nesses últimos seis anos; a Jofran, e a Simone Marinho amigos de e-mail e que me fizeram acreditar que era possível o impossível, obrigado pelas conversas filosóficas! À Ângela Green, José, Juliana, Juliano, Lucas, Pedro, Surema, Stacey e Xiaopeng, amigos de intercâmbio e com os quais vivi momentos intensos, inesquecíveis e que mudaram o rumo de minha vida para sempre. Ao Dr. Xin, Dr. Hong Li, Dr. Thomas Brumm e a Shelley Taylor, que me mostraram que a solidariedade não possui fronteiras.

Agradeço a todos os meus professores quem tanto me ensinaram não só sobre a academia, mas sobre a vida. Agradeço em especial à Tia Zuleide, minha professora da alfabetização e que me ajudou a mergulhar no maravilhoso mundo da leitura. A José Miranda (*in memoriam*), diretor do colégio onde estudei até o ensino médio e que me

ensinou que ‘nunca devemos deixar para amanhã o que podemos e devemos fazer hoje mesmo’. Agradeço à Florence, com quem tive minha primeira aula na Universidade, Cálculo I. Às professoras Ângela, Niedja e Nielí pelo apoio e pelos bons conselhos. Meu muito obrigado ao professor Wallace, pela paciência, e a todos os professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola e em especial aos professores Dermeval, Jórgesson, Josivanda, Juarez, Marluce e Pedro Dantas.

E, finalmente, sou eternamente grato a meus pais Ana e José por me amarem do jeito deles, pelos exemplos de dignidade, honestidade, dedicação, respeito ao próximo e por estarem sempre do meu lado quando precisei; por todo o apoio material e imaterial acima de tudo. Saibam que amo muito vocês dois. Agradeço a meus irmãos, Márcia, Leandro, Laelson e Lenilson por serem tão diferentes e me ensinarem tanto.

*A todos vocês, meu muito obrigado!*

## **Dedicatória**

Aos meus pais por serem tão pacientes.

A Jaqueline, a quem eu ainda não consegui mostrar o valor da escola.

Àqueles que acreditaram em mim.

A todos os que sonham e trabalham para tornar seus sonhos realidade.

“Entretanto se eu me esforçasse como havia me esforçado, talvez conseguisse um dia entender que as pessoas sempre chegam na hora exata nos lugares onde estão sendo esperadas.”

(Paulo Coelho, *O Diário de um Mago*)

<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>Fundamentação Teórica.....</b>	<b>2</b>
<b>MONITORANDO O TEOR DE UMIDADE NO ESTERCO E NA CAMA     DE AVES.....</b>	<b>2</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>5</b>
<b>MONTAGEM DO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>PROCEDIMENTO PADRÃO DE CALIBRAGEM DOS SENSORES     PARA AS CAMAS DE PERU E DE FRANGO DE CORTE.....</b>	<b>7</b>
<i>a) O Controle do Peso Específico.....</i>	<i>7</i>
<i>b) Mudando o Teor de Umidade da Cama de Aves.....</i>	<i>8</i>
<b>PROCEDIMENTOS PADRÕES DA CALIBRAGEM “IN SITU” PARA O     ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA.....</b>	<b>9</b>
<b>PROCEDIMENTOS PADRÕES PARA O TESTE DE SENSIBILIDADE     DOS SENSORES À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA.....</b>	<b>10</b>
<b>Análises e Discussões.....</b>	<b>11</b>
<b>CALIBRAGEM PARA AS CAMAS DE PERU E FRANGO DE CORTE...</b>	<b>11</b>
<b>CALIBRAGEM <i>In Situ</i> PARA O ESTERCO DE GALINHA     POEDEIRA.....</b>	<b>15</b>
<b>TESTE DE SENSIBILIDADE À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA.....</b>	<b>17</b>
<b>Conclusões.....</b>	<b>19</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>21</b>

# Introdução

A situação atual da domesticação de animais para o benefício humano alcançou tal nível que os sistemas avícolas para a produção de carne e ovos alcançaram dimensões nunca pensadas. Apenas para citar um exemplo, no ano de 2006 a produção mundial de carne de frango foi de aproximadamente 60,09 milhões de toneladas. Os Estados Unidos está no topo da lista com 16,16 milhões de toneladas, seguidos pela China (10,35 milhões de toneladas) e pelo Brasil (9,03 milhões de toneladas). Tal produção possui, obviamente, um impacto no meio-ambiente local e também no planeta como um todo (USDA – 2006).

Atividades como a criação de animais possuem a vantagem da produção contínua de esterco e cama, os quais podem ser adicionados ao solo como fertilizantes. A matéria orgânica é uma importante fonte de nutrientes para as plantas, especialmente o nitrogênio (Kiehl, 1985); sendo assim, o esterco de aves pode ser classificado como uma ótima fonte de nitrogênio para a fertilização orgânica.

Porém, os sistemas modernos de criação em alta densidade na indústria de consumo dos produtos derivados das aves e também o uso dos dejetos gerados como fertilizante têm sido caracterizados como importantes fontes da amônia que é encontrada na atmosfera; por exemplo, 90% das emissões totais de amônia no oeste europeu são geradas pela atividade agrícola (Stevens & Laughlin, 1992; Bussik & Oenema, 1996; Kirchmann et al., 1998; Meissinger & Jokela, 2000). As percas de amônia para a atmosfera são importantes tanto para os ecossistemas agrícolas quanto para os ecossistemas não-agrícolas pelas seguintes razões:

- i. São uma importante fonte do N disponível para a planta no ecossistema;
- ii. Reduzem a razão N:P nos dejetos produzidos, o que contribui para a precipitação do P no solo; e
- iii. Contribuem para a eutrofização no meio aquático e nos ecossistemas que possuem baixos níveis de N, através da deposição do N atmosférico.

Desta forma, a preocupação da comunidade científica a cerca desse tema é crescente, pois acredita-se que os métodos atuais de manejo e utilização dos dejetos de aves podem estar provocando o enriquecimento por amônia em rios, estuários e águas costeiras (Asman et al. 1994; Asman, et al. 1998; Sharpley et al. 1998; Meissinger & Jokela, 2000).

As taxas de emissão de amônia dependem de aspectos vários como o conteúdo de nitrogênio no dejetos, seu teor de umidade, forma de amontoamento dos paióis, pH, temperatura e disponibilidade de nitrogênio; todas essas variáveis afetam a atividade microbiana e conseqüentemente a transferência de amônia do interior do paiol de dejetos (Li, 2006). Além do

mais, as taxa de emissão de  $\text{NH}_3$  também da forma como os dejetos são manejados e dos sistema de remoção desses dejetos do lugar de onde foram produzidos ou inicialmente depositados; por exemplo, galpões para a criação de galinhas poedeiras equipadas com sistema de remoção dos dejetos através de um cinturão automatizado têm sido apontados por emitirem 10% menos  $\text{NH}_3$  do que os galpões que não são equipados com o cinturão automatizado (Liang et al., 2005).

Yang et al. (2000) verificou que o sistema de manejo e secagem dos dejetos e bem como a ventilação dos galpões de armazenamento desses dejetos são importantes fatores relacionados com o teor de amônia em galpões de criação de galinhas poedeiras.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi calibrar sensores elétricos de medição de umidade do solo para a medição do teor de umidade no dejetos de aves, a saber:

- i. Camas de peru e frango de corte;
- ii. Esterco de galinha poedeira.

Também foi avaliada a sensibilidade dos sensores à flutuação de temperatura no interior dos dejetos.

## Fundamentação Teórica

### MONITORANDO O TEOR DE UMIDADE NO ESTERCO E NA CAMA DE AVES

Para verificar a importância do teor de umidade nos dejetos de aves e sua relação com a emissão de amônia, observe-se a Figura 1 que mostra a relação entre estas duas variáveis.

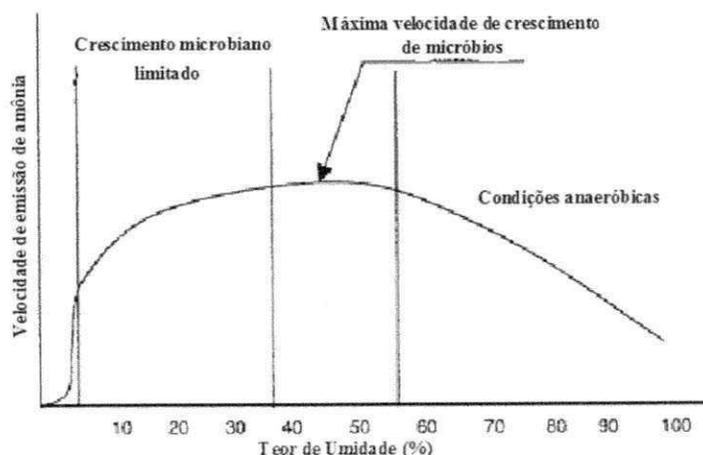


Figura 1 - Esquema representativo da dependência entre emissão de amônia e teor de umidade do esterco de aves. (retirado de Groot Koerkamp, 1998; citado por Yang et al. 2000)

Observa-se na Figura 1 que a atividade microbiana, e portanto a taxa máxima de emissão de amônia, é máxima quando o teor de umidade varia entre 40 e 55%. Evidentemente esse ponto máximo também dependerá de temperaturas relativamente elevadas e ventilação apropriada, desde que esses fatores se equalizem com as condições ótimas para o crescimento das colônias de micróbios.

Medir o teor de umidade de dejetos de aves (TUD) é uma tarefa muito importante tanto na pesquisa científica quanto para a indústria porque esse conhecimento faz com que o tomador de decisões tenha mais informações sobre as taxas de emissões que podem causar danos ao meio-ambiente e à saúde das aves, que pode afetar diretamente a produção. Existem muitos métodos que podem ser utilizados para a medição o teor de umidade de modo preciso e rápido. O método gravimétrico, que é tradicional e bastante aceito pela comunidade científica é um ótimo método, mas não é instantâneo, pois este método exige pelo menos algumas horas até que o resultado esteja pronto.

The ECH<sub>2</sub>O *Soil Moisture Sensor* (DECAGON DEVICES®) afere a constante dielétrica de um meio qualquer determinando a razão de mudança na voltagem num sensor que esteja envolto por esse meio; esta constante dielétrica é convertida num número que indica o volume de água contido num certo volume do meio onde o sensor está imerso.

Originalmente, os sensores da marca ECH<sub>2</sub>O, modelo EC-5 foram desenvolvidos para medir o teor de umidade em todos os tipos de solos, com o principal objetivo de servir à produção agrícola. Segundo as especificações do manual de instruções do usuário (o qual se encontra disponível no site da Decagon Devices), o tempo de medição deles é de 10 ms (milissegundos), a resolução na medição do teor de umidade do solo (em volume) é de no mínimo 0,001 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>; tais sensores podem ser utilizados em meios com temperaturas variando de -40° C até +50° C. A propriedades dos sensores do modelo EC-5 de possuírem duas palhetas, confere a estes a característica de fazer as medições do teor de umidade de forma mais precisa para todos os tipos de solo, e num intervalo de salinidade bem maior, quando comparado com os modelos mais antigos de sensores da mesma marca. O manual do usuário fornece modelos de calibragem dos sensores para vários tipos de solo já prontos, tendo sido desenvolvidos em laboratório, caso o usuário não deseje realizar a calibragem para o tipo específico de solo onde vai trabalhar. Porém recomenda-se veementemente que se realize a calibragem específica do solo, para que as aferições sejam mais precisas. O site do fabricante disponibiliza manuais que explicam o passo-a-passo dos procedimentos de calibragem para um tipo qualquer de solo.

Como o sensor é sensível ao volume de água por volume do meio (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, por exemplo), a leitura do sensor muda quando o peso específico do meio também muda, mesmo se o teor de umidade desse meio permanece o mesmo (Campbell, 2006). Então, quando certa quantidade do meio tem seu volume diminuído como, por exemplo, após uma compressão, o

volume de umidade também diminuirá e conseqüentemente o dado de saída do sensor será incrementado.

A relação entre o dado de saída obtido do sensor, o teor de umidade do meio e seu peso específico pode ser representada matematicamente por meio de calibragem. Após a coleta de dados para vários teores de umidade e vários valores para o peso específico em certo meio, o próximo passo é encontrar uma equação que possa representar o teor de umidade ( $\theta$ ) e o peso específico do meio ( $\rho$ ) como sendo uma função do dado de saída (OP). A Equação 1 evidencia a representação matemática geral da dependência entre as variáveis supra-citadas.

$$\theta = f(OP, \rho) \quad (1)$$

A correlação entre dado de saída do sensor e o peso específico deve ser linear ( $OP = b.\rho + cte1$ ), porque enquanto o peso específico aumenta, os espaços vazios (contendo ar) contidos no interior do meio também são diminuídos na mesma razão. Porém, a correlação entre o dado de saída do sensor e o teor de umidade é desconhecida, de modo que para fazer possível a calibragem deve-se assumir uma tendência matemática para correlacionar essas duas variáveis. Neste trabalho, assumiu-se que a correlação entre o dado de saída do sensor e o teor de umidade do meio é linear ( $OP = a.\theta + cte2$ ). Utilizando o método da superposição linear, as duas equações citadas neste parágrafo juntas formam a Equação 2 que mostra a representação tridimensional das variáveis independentes com a variável dependente. A Equação 3 mostra a Equação 2 solucionada para o teor de umidade.

$$OP = a.\theta + b.\rho + c \quad (2)$$

$$\theta = (1/a).OP - (b/a).\rho - (c/a) \quad (3)$$

A relação expressa pela Equação 1 é obtida através da regressão de dados experimentais, os quais são ajustados num modelo matemático, formando uma superfície de resposta.

A equação que descreve a relação entre uma amostra de esterco ou cama de aves com o dado de saída do sensor pode mudar de acordo com as características dessa amostra. Fatores como o tipo de cama utilizada para criar as aves (raspa de madeira, casca de arroz, etc) e a espécie de ave que está sendo considerada (frangos, perus, etc) e até mesmo diferentes tipos de alimentação fornecidos a plantéis de aves da mesma espécie são potenciais fontes de mudanças nas equações de calibração.

A temperatura pode afetar sensores de umidade dielétricos devido a efeitos diretos nos circuitos do sensor e através da interação entre a água e o meio onde ela se encontra (Campbell,

2006), neste na interação esterco/água ou cama/água; desse modo, a temperatura do(a) esterco/cama consiste num fator potencial que pode influenciar no processo de calibração. Em outras palavras, duas amostras de cama de certo tipo de ave nas mesmas condições de teor de umidade e peso específico, mas submetidas a diferentes temperaturas podem apresentar diferentes leituras.

Todavia, tentar correlacionar as leituras dadas pelo sensor com variação de temperatura tem sido uma matéria controversa. Pepin et al., 1995 mostra que essa correlação é negativa, porém de um modo geral as mudanças são mais baixas do que o previsto por um modelo dielétrico de simulação que integra mudanças na permissividade elétrica ( $\epsilon$ ) da água para diferentes temperaturas. Em contraste, Wraith & Or, 1999 mostram uma correlação positiva entre a temperatura e  $\epsilon$  para um solo do tipo silte em todos os teores de umidade testados e uma correlação positiva para um solo contendo silte e oxisol quando os teores de umidade eram baixos, e que depois mudou para uma correlação negativa quando os teores de umidade eram altos. Isso mostra que estudos mais aprofundados devem ser realizados para explicar como a leitura do sensor muda com a temperatura.

## **Materiais e Métodos**

### **MONTAGEM DO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO**

Os experimentos foram realizados em dois diferentes lugares, o laboratório e um galpão de criação de galinhas para a produção de ovos (neste caso a calibração foi chamada *in situ*). A seção experimental realizada em laboratório ocorreu no Laboratório de Ambiência Animal no *National Swine Research and Information Center* – NSRIC (Centro Nacional de Pesquisas e Informações sobre Suínos) na *Iowa State University*, localizada na cidade de Ames, estado de Iowa, Estados Unidos da América. A calibração *in situ* foi feita no porão de armazenamento de esterco em um galpão de criação de aves poedeiras pertencente à fazenda *Sparboe Farms*, também localizada no estado de Iowa.

Um computador portátil foi conectado com uma CR10 (*Campbell Scientific, Inc.*), o qual estava conectado com quatro sensores do modelo ECH<sub>2</sub>O EC-5, produzidos pela *Decagon Devices*. Os sensores possuíam um cabo de 5 metros e foram imersos em contêineres de plástico os quais eram preenchidos com cama de aves. Observando a Figura 2, pode-se observar como o era composto o sistema de calibração.

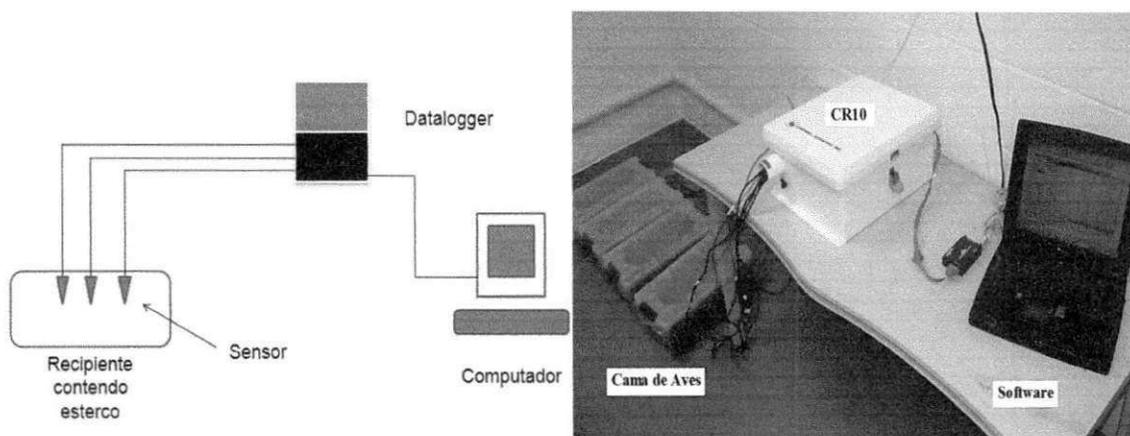


Figura 2- Esboço do sistema de calibração (esquerda) e a montagem experimental real feita no laboratório.

O sensor utilizado é composto basicamente de três partes: o corpo do sensor, o cabo e o conector. O corpo do sensor (Figura 3-A) é dividido em circuito, o qual gera o campo elétrico, e o sensor propriamente dito, que emite o campo elétrico e capta a resposta do meio. O cabo possui três fios como mostrado na Figura 3-C, o fio branco transmite o sinal elétrico, o fio vermelho transmite o sinal elétrico modificado pelo meio até o data logger; o fio transparente é o fio-terra. O conector (Figura 3-B) foi especialmente projetado para conectar apropriadamente os três fios com o data logger.

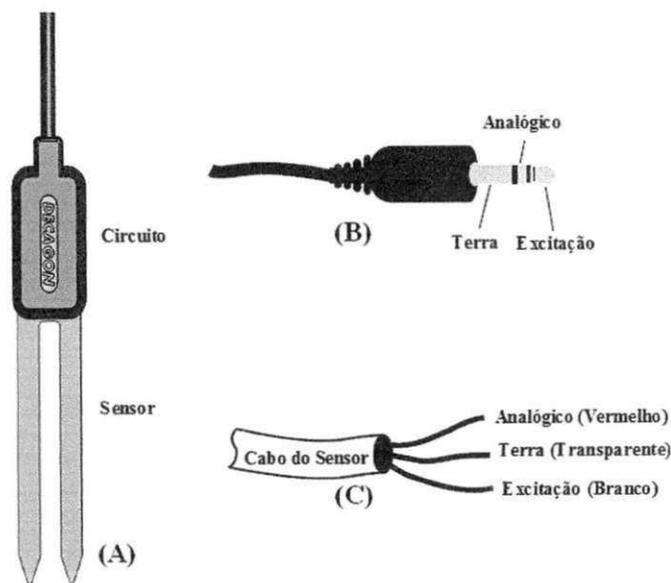


Figura 3- A estrutura do sensor: o corpo do sensor (A), o conector (B) e o cabo (C).

A CR10 possuía uma bateria com um regulador de carga de 12V e um *Ralay Multiplexer*. Um programa foi escrito na linguagem C++ o qual controlava o sistema de calibração. A função básica do programa era a de solicitar ao logger que coletasse dados a cada 10s. Após excitar os sensores com um pulso de voltagem de 1200mV, o logger emitia a leitura de volta para a tela do computador. O ambiente no qual o programa atuado era o software PC208W 3.1a, produzido pela *Campbell Scientific, Inc.*

## PROCEDIMENTO PADRÃO DE CALIBRAGEM DOS SENSORES PARA AS CAMAS DE PERU E DE FRANGO DE CORTE

### a) O Controle do Peso Específico

Para a calibragem, as camas tiveram seus teores de umidade alterados para gerar quatro diferentes valores (27,1; 36,6; 46,1 e 55,5% para a cama de frango de corte e 22,8; 33,3; 46,1 e 56,1% para a cama de peru). Em cada teor de umidade, o peso específico foi alterado para gerar cinco diferentes valores (318,3; 346,1; 379,1; 419,2 e 468,0 kg m<sup>-3</sup> para ambos os tipos de cama). Para todas as combinações entre teor de umidade e peso específico, a massa da amostra de cama de ave utilizada era constante e igual a 3,5 kg; os volumes padrões para gerar os cinco valores do peso específico eram 0,0110; 0,0101; 0,0092 e 0,0083 m<sup>3</sup>.

Desse modo, para a regressão dos dados, foram utilizados 20 pontos obtidos a partir da combinação dos quatro teores de umidade versus os cinco diferentes pesos específicos. Além do mais, cada ponto na Tabela 1 foi o resultado da média obtida de quatro sensores e três repetições.

Tabela 1- Combinação das variáveis independentes e seus valores representados por:  $\theta$  – teor de umidade e  $\rho$  – peso específico. Cada combinação forma um ponto na rede dados utilizada para a regressão.

Variáveis	$\theta 1$	$\theta 2$	$\theta 3$	$\theta 4$
$\rho 1$	$\theta 1\rho 1$	$\theta 2\rho 1$	$\theta 3\rho 1$	$\theta 4\rho 1$
$\rho 2$	$\theta 1\rho 2$	$\theta 2\rho 2$	$\theta 3\rho 2$	$\theta 4\rho 2$
$\rho 3$	$\theta 1\rho 3$	$\theta 2\rho 3$	$\theta 3\rho 3$	$\theta 4\rho 3$
$\rho 4$	$\theta 1\rho 4$	$\theta 2\rho 4$	$\theta 3\rho 4$	$\theta 4\rho 4$
$\rho 5$	$\theta 1\rho 5$	$\theta 2\rho 5$	$\theta 3\rho 5$	$\theta 4\rho 5$

Os diferentes teores de umidade foram calculados com base na aferição da massa de cama de ave contida num recipiente e o volume que essa massa de cama ocupava. O contêiner utilizado para abrigar o material durante a calibração era constituído de plástico translúcido, e

possuía linhas indicadoras dos diferentes volumes; desse modo, a coleta dos dados começava com a cama na condição mais seca e preenchendo o maior dos volumes indicados no contêiner.

Em seguida, os sensores eram inseridos de maneira vertical no contêiner; os sensores permaneciam inseridos por um período mínimo de 2 minutos, mas não mais do que cinco minutos. Esse tempo de espera garantia que a leitura coletada estava totalmente estabilizada.

Após a coleta das leituras de cada um dos quatro sensores para cada uma das repetições, o peso específico era aumentado através da compressão vertical da massa de cama de ave, até que o seu volume passasse a ocupar outro volume, um pouco menor que o anterior.

Após a coleta de dados para todos os pesos específicos, água era adicionada à massa de cama de aves para aumentar o seu teor de umidade. Em seguida a mistura era fechada hermeticamente e acondicionada numa sala fria (a aproximadamente 5 °C), onde permanecia por aproximadamente 8 horas para que a água adicionada fosse absorvida pelos grumos maiores presentes na cama e que a umidade ficasse mais homoganeamente distribuída. Após esse tempo, os contêineres eram retirados da sala fria e uma nova coleta de dados era iniciada quando o material estivesse na temperatura ambiente.

Para incrementar o teor de umidade na cama de um valor inicial ( $\theta_i$ ) para um valor final ( $\theta_f$ ), levando em consideração uma quantidade de cama de ave que possua uma massa inicial ( $M_i$ ), adiciona-se uma quantidade em peso ( $\Delta M$ ) de água que foi calculada pela seguinte expressão:

$$\Delta M = [1/(100 - \theta_f)] \cdot (\theta_f - \theta_i) \cdot M_i \quad (4)$$

Onde:

$\Delta M$  – a mudança de peso, o que significa a quantidade de água que deve ser adicionada;

$M_i$  – Peso inicial;

$\theta_i$  – Teor de umidade inicial (em base seca);

$\theta_f$  – Teor de umidade final (em base seca).

#### ***b) Mudando o Teor de Umidade da Cama de Aves***

Antes de incrementar o teor de umidade da cama de aves, amostras foram coletadas para calcular o teor de umidade atual do material utilizando o método gravimétrico. As equações necessárias são descritas abaixo.

$$\theta = (M_a/M_s) \cdot 100\% \quad (5)$$

Onde:

$M_a$  – massa de água na amostra;

$M_s$  – massa seca da amostra;

$\theta$  – teor de umidade da amostra.

De modo que:

$$M = M_a + M_s \quad (6)$$

Sendo assim, a Equação 5 pode ser escrita como sendo:

$$\theta = [M_a / (M_a + M_s)] \cdot 100\% \quad (7)$$

Para cada teor de umidade, foram tomadas três amostras da cama, as quais foram acondicionadas em pequenos cadinhos de alumínio que possuíam massas conhecidos. Cada amostra teve sua massa determinada por meio da pesagem em balança de precisão e em seguidas foram colocadas em um forno (sem fluxo de ar) a aproximadamente 105 °C, onde permaneceram por aproximadamente 10 horas. Após esse tempo as amostras secas tiveram suas massas aferidas novamente. O teor de umidade de cada amostra foi calculado com base na Equação 7 e em seguida foi calculada uma média dos três valores, a qual foi admitida como sendo o teor de umidade real do material de onde as amostras foram retiradas.

## **PROCEDIMENTOS PADRÕES DA CALIBRAGEM “IN SITU” PARA O ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA**

A coleta de dados ocorreu em um dos galpões de uma fazenda de criação de galinhas poedeiras localizada no estado de Iowa – USA. Nesse galpão, o esterco caía por meio da gravidade direto das gaiolas no piso superior da construção para o que se poderia chamar de “porão” da construção; dessa forma, os paióis de esterco eram dispostos ao longo do galpão no sentido do comprimento. Os paióis possuíam uma forma prismática cujas dimensões aproximadas eram 100,0 x 2,0 m de base e 1,0 m de altura. Para a coleta de dados, foram escolhidos dois paióis localizados na região central do porão; em seguida, foram escolhidos pontos aleatórios a várias alturas do chão e também ao longo do comprimento.

Em cada ponto escolhido, os quatro sensores eram inseridos a uma distância de aproximadamente 2 cm uns dos outros. As posições deles no ponto selecionado foi trocada seguidas vezes até que todas as leituras apresentassem um valor consistente. Após esse procedimento.

Após a coleta da leitura dos sensores, uma amostra de esterco era coletada para a aferição do teor de umidade em laboratório pelo método gravimétrico. Cada amostra tinha massa de aproximadamente 500 g, a qual era acondicionada em saco plástico com lacre hermético (para evitar troca de umidade com o meio). Depois, as amostras foram encaminhadas ao laboratório em caixas de isopor. Um total de 20 amostras foi coletado nessa fase do experimento.

Outros 10 pontos foram obtidos seguindo-se os procedimentos acima descritos, porém dessa vez o esterco foi coletado de outra fazenda onde o teor de umidade era consideravelmente maior que no primeiro caso.

Para a calibragem “in situ” o data logger utilizado era um EM5 (*Decagon Devices* ©) que possuía cinco portas. Cada uma dessas entradas era excitada com uma voltagem de 2500mV (uma voltagem diferente da utilizada na calibragem em laboratório que era de 1200mV).

## **PROCEDIMENTOS PADRÕES PARA O TESTE DE SENSIBILIDADE DOS SENSORES À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA**

Para verificar se os sensores são significativamente sensíveis à flutuação de temperatura quando comparado com sua sensibilidade à variação no teor de umidade, foram realizados os seguintes procedimentos.

Quatro vasilhames plásticos (os mesmos utilizados nas seções de laboratório), os quais possuíam dimensões de fundo de 0,45x0,25 m, e 0,15 m de profundidade, foram preenchidos com dois tipos de cama de aves, a cama de peru e a cama de frango de corte (dois vasilhames para cada tipo). Para ambos os tipos de cama, os teores de umidade testados foram 35 e 55%. Cada vasilhame tinha 1 sensor EC-5 e 1 termo-par para o monitoramento do teor de umidade e da temperatura no material. Outro termo-par foi utilizado para monitorar a temperatura do ambiente (sala do laboratório).

Quando a coleta de dados foi iniciada a temperatura das camas de aves era de aproximadamente 4 °C. Esta temperatura foi obtida após a colocação dos containeres em uma sala fria, cuja temperatura média era de aproximadamente 4 °C. Após permanecer sob resfriamento por aproximadamente 12 horas, o teste foi iniciado. O sistema, então, foi posto a funcionar com temperatura ambiente aproximadamente constante; o data logger coletou dados por 25 horas seguidas.

# Análises e Discussões

## CALIBRAGEM PARA AS CAMAS DE PERU E FRANGO DE CORTE

Após a coleta de dados, estes foram organizados e tratados. Cada ponto mostrado na Tabela 1 foi obtido através da média de quatro sensores e três repetições, o erro padrão foi também calculado. Observando a Figura 4, pode-se perceber como o dado de saída do sensor se comporta quando o teor de umidade da cama de aves também muda.

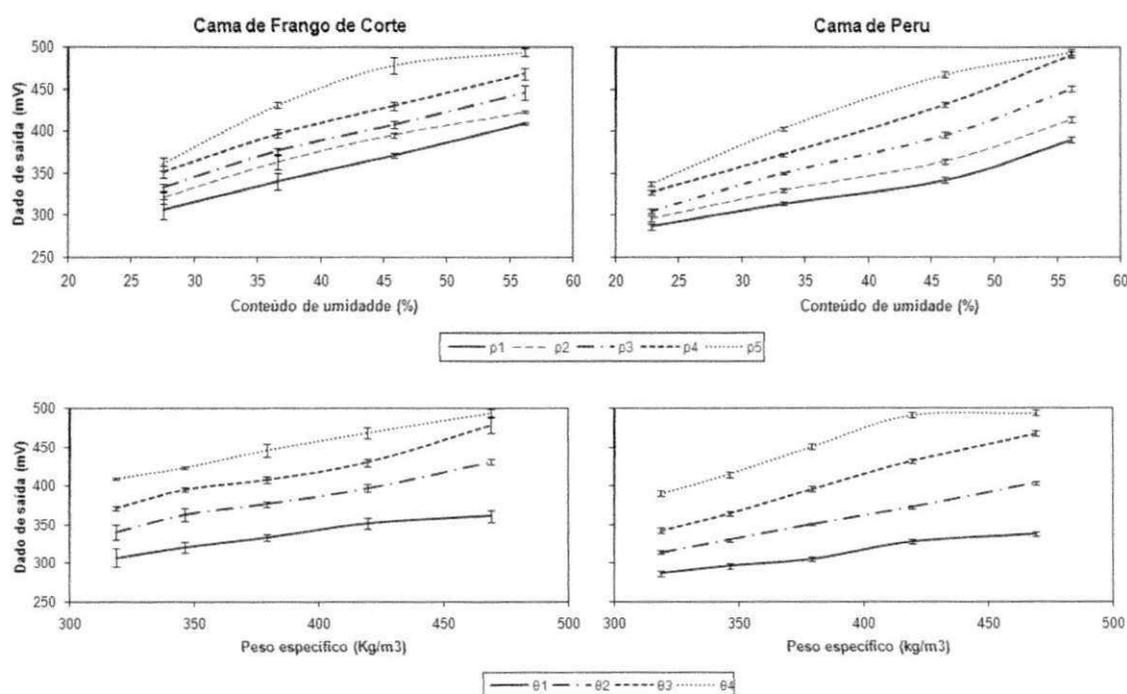


Figura 4 – Representação gráfica dos dados experimentais, quando as variáveis são organizadas em pares.

Os gráficos acima mostram a relação entre dado de saída e peso específico para diferentes teores de umidade. Os gráficos mais abaixo mostram a relação entre o dado de saída do sensor e o teor de umidade para diferentes pesos específicos.

Analisando os dois primeiros gráficos na Figura 4 acima, pode-se observar que a relação entre dado de saída e peso específico para cada teor de umidade testado é aproximadamente linear. Este comportamento concorda com o que foi afirmado anteriormente. Um comportamento semelhante é observado para a relação entre dado de saída e teor de umidade para os diferentes pesos específicos. Este comportamento pode ser observado na Figura 4, onde as variáveis aparentam ter uma relação de proporcionalidade simples. A Tabela 2 abaixo contém as equações lineares individuais obtidas da regressão de cada conjunto de pontos

representado por uma linha na Figura 4. Cada equação é seguida pelo coeficiente de correlação ( $R^2$ ) que mostra o grau de ajuste dos dados experimentais com o modelo teórico.

Tabela 2 – Equações obtidas a partir da correlação entre as variáveis: dado de saída e peso específico para diferentes teores de umidade (acima) e dado de saída e teor de umidade para diferentes pesos específicos (abaixo).

TU	Cama de Frango de Corte	$R^2$	Cama de Peru	$R^2$
<b>01</b>	OP = 0,367 $\rho$ + 172,4	0,98	OP = 0,367 $\rho$ + 193,2	0,98
<b>02</b>	OP = 0,574 $\rho$ + 127,2	0,99	OP = 0,574 $\rho$ + 159,1	0,99
<b>03</b>	OP = 0,663 $\rho$ + 73,41	0,98	OP = 0,663 $\rho$ + 159,8	0,99
<b>04</b>	OP = 0,739 $\rho$ + 161,6	0,99	OP = 0,570 $\rho$ + 227,1	0,98
PE	Cama de Frango de Corte	$R^2$	Cama de Peru	$R^2$
<b><math>\rho</math>1</b>	OP = 3,557 $\theta$ + 208,8	0,99	OP = 2,969 $\theta$ + 215,1	0,97
<b><math>\rho</math>2</b>	OP = 3,554 $\theta$ + 227,4	0,98	OP = 3,427 $\theta$ + 215,3	0,98
<b><math>\rho</math>3</b>	OP = 3,859 $\theta$ + 229,9	0,99	OP = 4,240 $\theta$ + 207,1	0,99
<b><math>\rho</math>4</b>	OP = 4,012 $\theta$ + 244,3	0,99	OP = 4,860 $\theta$ + 212,8	0,99
<b><math>\rho</math>5</b>	OP = 4,619 $\theta$ + 249,4	0,92	OP = 4,725 $\theta$ + 237,9	0,99

Os valores para  $R^2$  para todas as equações na Tabela 2 foram próximos de 1 (correlação máxima), isto significa que as variáveis estão fortemente correlacionadas umas com as outras. Em outras palavras, o fato de se ter adotado o modelo linear para explicar o fenômeno físico é bastante razoável.

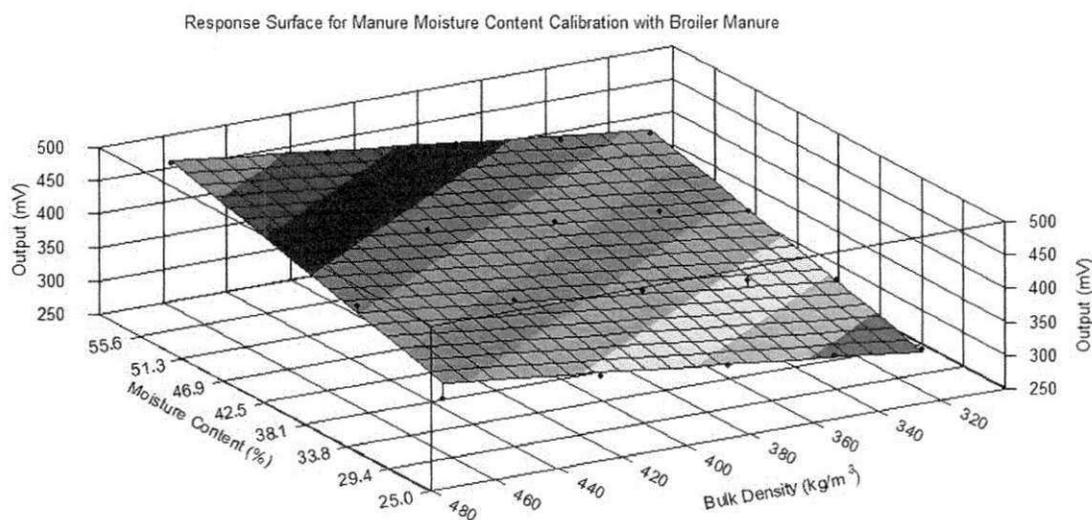
Sabendo que o modelo linear pode ser aplicado na calibragem, procedeu-se a regressão múltipla para as variáveis independentes (teor de umidade e peso específico) e a variável dependente (dado de saída), mas desta vez, todas juntas. Para este procedimento, utilizou-se um programa de regressão múltipla. Na Figura 5 pode-se observar as matrizes de correlação para as camas de frango de corte e de peru.

Frango de Corte				Peru			
	$\theta$	$\rho$	OP		$\theta$	$\rho$	OP
$\theta$	1	0	0,81	$\theta$	1	0	0,82
$\rho$	0	1	0,56	$\rho$	0	1	0,54
OP	0,81	0,56	1	OP	0,82	0,54	1

Figura 5 – Matrizes de correlação para as camas de frango de corte e de peru.

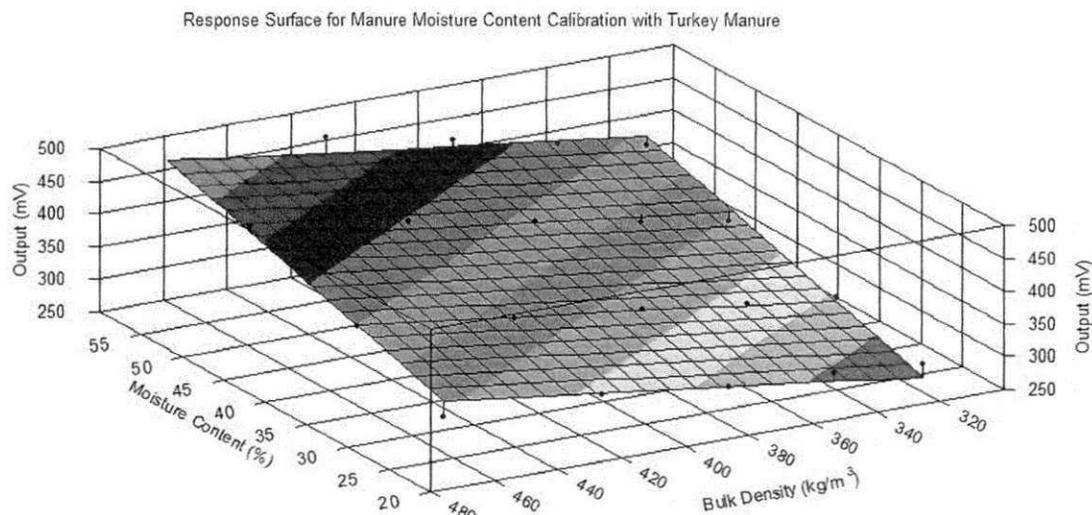
Pela observação das matrizes de correlação para ambos os tipos de cama, pode-se notar que, por um lado, não há correlação entre o teor de água e o peso específico ( $R^2 = 0$ ), o que evidencia que estas variáveis são realmente independentes uma da outra. Por outro lado, a correlação entre as variáveis independentes e a variável dado de saída foi não-nula, sendo que OP foi melhor correlacionado com o teor de umidade ( $R^2=0,81$  para o frango de corte e  $R^2=0,82$  para o peru). As correlações entre OP e o peso específico para ambos os tipos de cama foram mais fracas ( $R^2=0,54$  para o frango de corte e  $R^2=0,54$  para o peru).

No processo de regressão, o programa também fornece uma representação geométrica que é chamada de superfície de resposta (Figura 6), e as equações lineares com as constantes de calibração como no modelo representado pela Equação 2. O programa também calcula o coeficiente geral de correlação, que mostra basicamente como todas as variáveis estão relacionadas.



(Cama de Frango de Corte)

$$OP = 3,92 \theta + 0,54 \rho + 21,91 \quad (R^2 = 0,98) \quad (8)$$



(Cama de Peru)

$$OP = 4,04 \theta + 0,63 \rho - 26,31 \quad (R^2 = 0,98) \quad (9)$$

Figura 6 – Superfície de resposta para as camas de frango de corte e de peru, mostrando o comportamento geral dos dados de saída do sensor quando ambos o teor de umidade e o peso específico variam. As figuras são também seguidas pela equação de regressão e o coeficiente geral de correlação.

É possível também notar na Figura 6 os dados experimentais representados por pequenos pontos pretos, bem como a distância entre eles e a superfície teórica. Um valor de  $R^2$  de 0,98 para ambos os tipos de cama evidencia que os dados experimentais são bem ajustados ao modelo teórico, em outras palavras, pode-se inferir que a calibração obteve êxito.

Tabela 3 – Resultados da análise de variância (ANOVA) calculados pelo programa de regressão.

<b>Cama de Frango de Corte</b>			
Constante	Valor	Erro Padrão	Prob (F)
A	3,92	0,19	0,00
B	0,54	0,0039	0,00
C	21,91	17,14	0,22
<b>Cama de Peru</b>			
Constante	Valor	Erro Padrão	Prob (F)
A	4,04	0,23	0,00
B	0,63	0,0054	0,00
C	-26,31	32,08	0,27

Pode-se inferir dos resultados da Tabela 3 que exceto para os valores da constante C, os erros padrões foram baixos para o cálculo das outras constantes. Isso também indica que a calibragem possui qualidade estatística.

## CALIBRAGEM *IN SITU* PARA O ESTERCO DE GALINHA POEDEIRA

Após a coleta dos dados no campo, as amostras foram trazidas para o laboratório e o teor de umidade delas foi aferido por meio do método gravimétrico; o teor de umidade de cada amostra foi o resultado da média de três repetições. No primeiro gráfico da Figura 7 é possível observar como os valores dos teor de umidade das amostras estão distribuídos ao longo do intervalo limitado pelos valores mínimo e máximo para o teor de umidade.

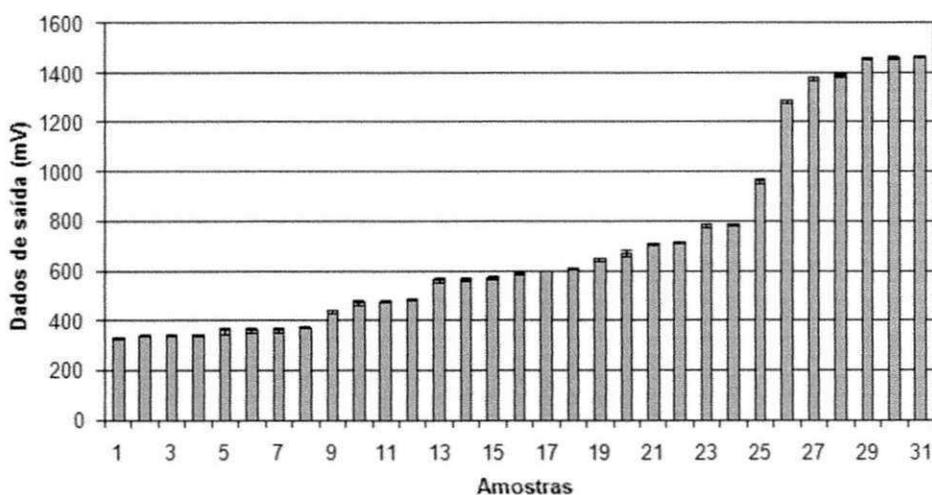
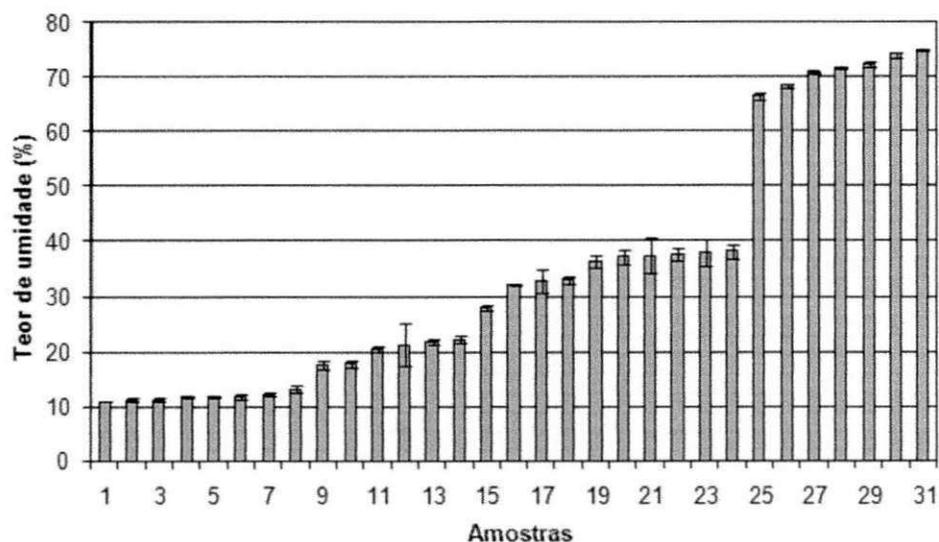


Figura 7 – Gráfico com barras mostrando como o teor de umidade (acima) e os dados de saída do sensor estão distribuídos ao longo do intervalo compreendido entre os valores máximos e mínimos.

No segundo gráfico da Figura 7 é possível observar a leitura média de cada ponto; também foram plotadas barras de erro para cada ponto, que representam a variação dos valores tomados em torno da média. Após checar a qualidade e precisão dos dados, procedeu-se o ajuste destes para um modelo linear. A Figura 8 mostra a representação gráfica da correlação entre os dados de saída e o teor de umidade.

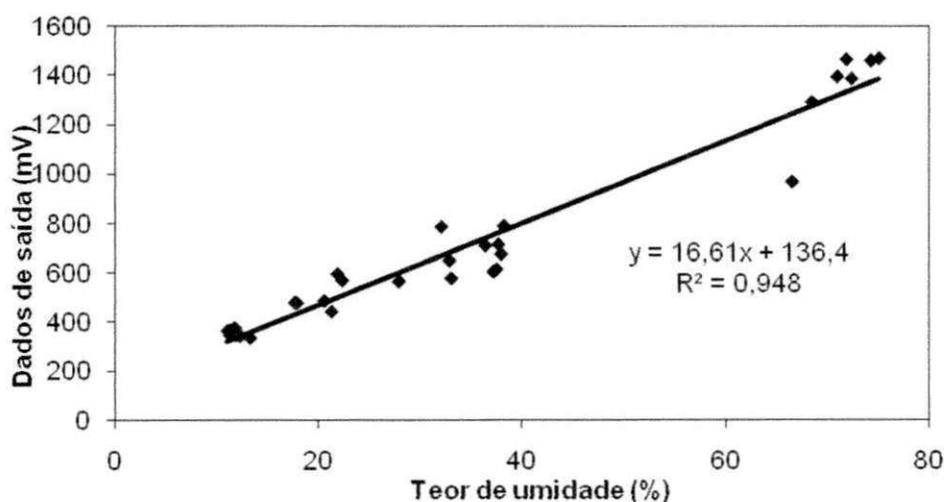


Figura 8 – Correlação linear entre os dados de saída e o teor de umidade para o esterco de galinha poedeira.

A equação mostrada na Figura 8 possui  $y$  como sendo o dado de saída do sensor e  $x$  como sendo o teor de umidade. Como pode ser visto, a correlação é aceitável ( $R^2=0,9483$ ). A falha de pontos observada no gráfico entre 60 e 45 % ocorreu devido à drástica diferença entre os teores de umidade obtidas das duas diferentes fazendas, e das notáveis diferenças entre elas. O segundo set de amostras foi obtido de uma fazenda onde o esterco era coletado por transportadores com cinturão, e a qual era armazenada em um galpão diferente que possuía uma menor taxa de ventilação que o galpão para galinhas poedeiras tradicional nos Estados Unidos. No modelo tradicional, o esterco cai no porão e o sistema natural de ventilação promove a secagem mais rápida dos dejetos.

## TESTE DE SENSIBILIDADE À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

Os dados foram organizados em gráficos, como mostrado na Figura 9, os quais mostram o comportamento temporal da leitura dos sensores quando a temperatura nas camas de aves aumentava. Durante todo o período, a temperatura ambiente permanecia aproximadamente constante. Pode ser visto que as leituras realmente mudam à medida que a temperatura aumentava porque a linha que representa o dado de saída do sensor praticamente segue a mesma tendência da temperatura. A temperatura nas camas de aves aumenta com o tempo até alcançarem a temperatura ambiente (cerca de 5 a 10 horas após o início do experimento). Após o intervalo de tempo em que a temperatura se estabiliza, para alguns contêineres a temperatura continua a aumentar sutilmente alguns graus a mais; isso ocorre por causa da atividade bacteriana que ainda atua na cama.

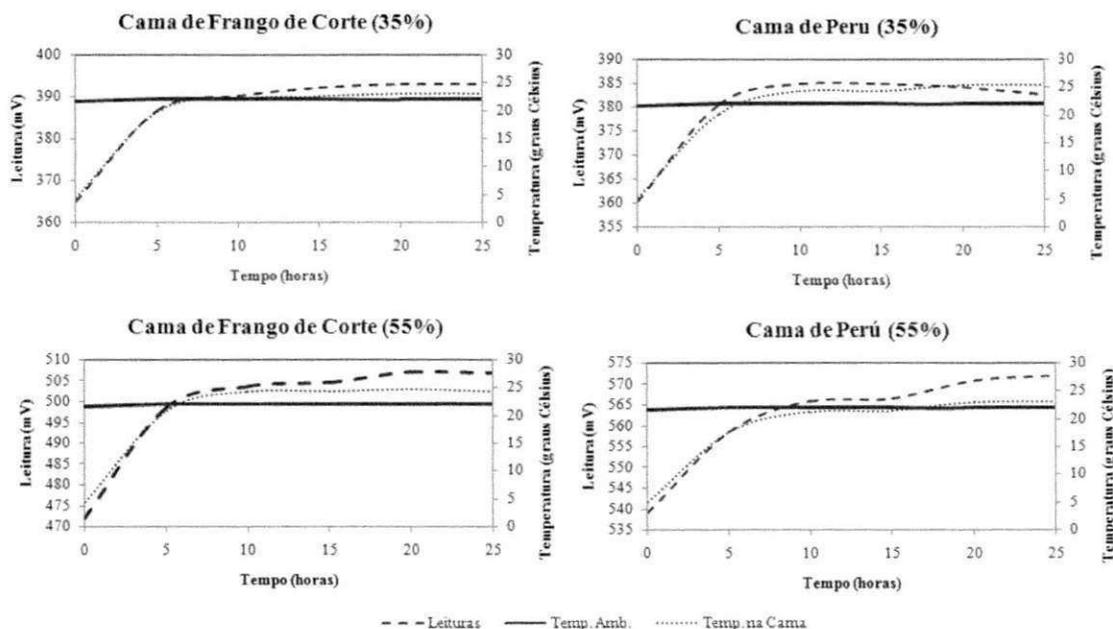


Figura 9 – Comportamento temporal das leituras dos sensores para as camas de frango de corte e peru quando a temperatura no material aumenta, para dois diferentes teores de umidade: 35 (à esquerda) e 55% (à direita).

Ainda observando os gráficos na Figura 9, pode-se observar que os sensores são sensíveis à variação de temperatura, mas ainda são necessárias investigações adicionais a cerca da significância dessa sensibilidade, quando comparada com a sensibilidade dos sensores ao teor de umidade. A Figura 10 mostra como a temperatura na cama de aves e o dados de saída dos sensores estão correlacionados.

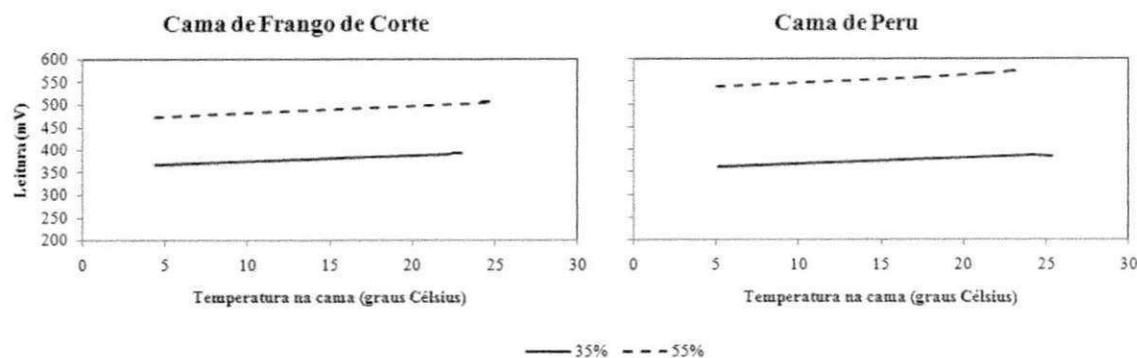


Figura 10 – Tendência de mudança da leitura do sensor quando a temperatura na cama de aves aumenta, para dois diferentes teores de umidade.

Pode-se observar a partir da Figura 10 que para todos os casos testados (dois diferentes tipos de cama de aves e dois diferentes teores de umidade), houve uma tendência linear de acréscimo da leitura com o acréscimo da temperatura. Desprezando-se os coeficientes lineares das retas, os coeficientes angulares representam o número de milivolts acrescidos quando a temperatura do material aumenta em 1 °C.

Campbell (2006), quando verificando a resposta de sensores do modelo EC-5 à variações na temperatura do ar, água e solo, analisou a variação do número de milivolts por grau Célsius ( $mV/^{\circ}C$ ). Na análise feita aqui, foram comparadas duas importantes razões:

- A razão entre a leitura do sensor e a temperatura ( $OP \times T$ );
- A razão entre a leitura do sensor e o teor de umidade ( $OP \times \theta$ ).

Os resultados mostrados na Tabela 4 para a razão  $OP \times T$  foram obtidas a partir da equação linear de correlação (coeficiente angular da reta) entre essas duas variáveis para as condições testadas. Os resultados da razão  $OP \times \theta$  foram tomados dos modelos de regressão obtidos das Equações 8 e 9, como sendo as constantes que multiplicam a variável que representa o teor de umidade ( $\theta$ ).

Tabela 4 – Comparação entre as razões dado de saída/temperatura e dado de saída/teor de umidade para as camas de frango de corte e peru ambos a 35 e 55% de teor de umidade.

Tipo de cama de aves	$OP \times T$ ( $mV/^{\circ}C$ )	$OP \times \theta$ ( $mV/\%$ )
Frango de corte (35%)	1,43	3,92
Frango de corte (55%)	1,69	
Peru (35%)	1,20	4,04
Peru (55%)	1,60	

Desse modo, se evidencia da Tabela 4 que os coeficientes para a razão  $OP/\theta$  foram maiores que os coeficientes da razão  $OP/t$  para todas as situações. Além do mais, considerando o intervalo de valores para o teor de umidade e para a temperatura, as leituras dos sensores

foram alteradas de modo mais significativa quando o teor de umidade variava. Por exemplo, para a cama de peru, a equação de regressão possuía como limites para o teor de umidade os valores 22,8 e 56,1 %, o que indica que o intervalo tem um tamanho de 33,3 %; no teste de sensibilidade à temperatura para a cama de peru a 55%, a temperatura mudou de 4 para 23 °C, o que significa um intervalo de 19°. Multiplicando os valores para os tamanhos de intervalo pelos respectivos coeficientes obtidos da Tabela 3, a conclusão é que o intervalo de leituras para o teor de umidade foi de 222,2 mV, contra apenas 30,4 mV que é o intervalo de variação para a temperatura na cama de peru. Fato semelhante foi observado para os outros casos. Destarte, os resultados obtidos aqui concordam com os de Campbell, que concluiu que os sensores ECH<sub>2</sub>O (incluindo o modelo EC-5) possui sensibilidade à variações de temperatura extremamente baixa.

## Conclusões

Os procedimentos padrões estabelecidos para calibrar os sensores do modelo ECH<sub>2</sub>O EC-5 para a medição do teor de umidade no esterco e cama de aves obteve êxito porque as correlações entre as variáveis testadas foram muito próximas à correlação máxima (1). As Equações 10 e 11, obtidas das Equações 8 e 9 mostram a relação, e como pode ser visto, a correlação foi de 0,98.

(Cama de frango de corte, excitação de 1200 mV)

$$\theta = 0,26 OP - 0,14 \rho - 5,59, R^2 = 0,98 \quad (10)$$

(Cama de peru, excitação de 1200 mV)

$$\theta = 0,25 OP - 0,16 \rho + 6,41, R^2 = 0,98 \quad (11)$$

Observando as Equações 10 e 11, pode-se notar que os sensores podem ser utilizados para aferir o teor de umidade das camas de aves, desde que o peso específico também seja conhecido.

Para a calibração *in situ*, a equação encontrada foi escrita mostrando o teor de umidade em função dos dados de saída (Equação 12). Neste caso, os sensores podem ser utilizados para aferir o teor de umidade do esterco utilizando apenas as leituras do sensor.

(Esterco de galinha poedeira, excitação de 2400 mV)

$$\theta = 0,065 OP - 8,32, R^2 = 0,95 \quad (12)$$

Considerando o teste de sensibilidade à temperatura, pode-se concluir que no intervalo de temperaturas utilizado os sensores não são sensíveis a flutuações de temperatura, quando comparado com suas sensibilidades ao teor de umidade. Isso significa que não é necessário aferir a temperatura da cama para se obter o teor de umidade.

## Referências Bibliográficas

- ASMAN, W. A. H., M. A. Sutton and J. K. Schjorring. 1998. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *New Phytol.* 139: 27- 48.
- ASMAN, W. A. H., R. M. Harrison and C. J. Ottley. 1994. Estimation of the net air-area flux of ammonia over the southern bight of the North Sea. *Atmos. Environ.* 28: 3647-3654.
- BUSSIK, D. M. and O. Oenema, 1996. Differences in rainfall and temperature define the use of different types of nitrogen fertilizer on managed grassland in UK, NL and Erie. *Neth. J. Agric. Sci.* 44:317-339
- CAMPBELL, C. S. Response of ECH<sub>2</sub>O Soil Moisture Sensors to Temperature Variation. Application Note publicada no site da empresa Decagon Devices: [www.decagon.com](http://www.decagon.com) , tel 0800-755-2751. 4 páginas. 2006.
- KIEHL, E. J. 1985. Chapter 2: O uso de esterco como adubo orgânico. In *Fertilizantes Orgânicos*, 91. Agronômica Ceres ed. . Piracicaba, São Paulo, Brazil.
- KIRSCHMANN, H., M. Esala, J. Morken, M. Ferm, W. Bussik, J. Gustavsson and C. Jakobsson. 1998. Ammonia emissions from agriculture. *Nut Cyc. In Agroecosystems* 51:1-3.
- LI, HONG 2006. Ammonia emissions from manure belt laying hen houses and manure storage. Published PhD diss. Ames, Iowa, Iowa State University, Department of Agricultural and Biosystems Engineering.
- LIANG, Y., Xin, H., Wheeler, E. F., Gates, R. S., Li, H., Zajaczkowsky, J. S., Topper, P. A., Casey, K. D., Behrends, B. R., Burnham, D. J., Zajaczkowsky, F. J. 2005. Ammonia emissions from U. S. laying hen houses in Iowa and Pennsylvania. *Transactions of the ASAE.* 48(5): 1927-1941.
- MEISSINGER, J. J., W. E. Jokela. 2000. Ammonia volatilization from dairy and poultry manure. *Managing Nutrients and Pathogens from Animal Agriculture (NRAES-130)*. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Ithaca, NY ([www.nraes.org](http://www.nraes.org)).
- OR, D. & Wraith, J. M. Temperature effects o soil bulk dielectric permittivity measured by time domain reflectometry: A Physical Model. *Water Resources Research.* 35(2): 371-383, 1999.
- PEPIN, S. , Livingston, N. J. & Hook, W. R. Temperature Dependent Measurement Errors in Time-Domain Reflectometry Determination of Soil-Water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59(1):38-43, 1995.
- SHARPLEY, A. N., J. J. Meissinger, A. Breeuwsma, J. T. Sims, T. C. Daniel and J. S. Scepers. 1998. Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. *Animal waste utilization: effective use of manure as a soil resource.* (Ed) J L. Hatfield. Pp. 173-242. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.

STEVENS, R. J., R. J. Laughlin and J. P. Frost. 1992. Effects of separation, dilution, washing and acidification on ammonia volatilization from surface-applied cattle slurry. *J. Agri (Camb.)* 113:383-389.

USDA. 1999. Poultry production in the United States and in the world in 2006. National Agricultural Statistics Database. Washington, D.C.: USDA National Agricultural Statistics Service. Available at: [www.nass.usda.gov](http://www.nass.usda.gov). Acessado em 28 de Julho de 2007.

YANG, P. and H. Xin, 2000. Nitrogen losses from laying hen manure in commercial high-rise layer facilities. *Transações da ASAE*, 43(6): 1771-1780.