UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MELISSA SELAYSIM DI CAMPOS

**Placas planas à base de cinza de cama sobreposta
de suínos e fibra de sisal para piso de
escamoteadores com diferentes fontes de
aquecimento**

MELISSA SELAYSIM DI CAMPOS

**Placas planas à base de cinza de cama sobreposta
de suínos e fibra de sisal para piso de
escamoteadores com diferentes fontes de
aquecimento**

Tese apresentada à Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de
Alimentos da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos
para a obtenção do Título de Doutor
em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Holmer
Savastano Jr.

Pirassununga

2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
da Universidade de São Paulo

D536p Di Campos, Melissa Selayssim
Placas planas à base de cinza de cama sobreposta de
suínos e fibra de sisal para piso de escamoteadores com
diferentes fontes de aquecimento / Melissa Selayssim Di
Campos. -- Pirassununga, 2010.
156 f.
Tese (Doutorado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Alimentos.
Área de Concentração: Qualidade e Produtividade
Animal.
Orientador: Prof. Dr. Holmer Savastano Junior.

1. Bioclimatologia 2. Casca de arroz 3. Entalpia
4. Leitões 5. Suinocultura. I. Título.

Aos meus pais, Dora e Neto. Meu porto seguro.

A minha irmã, Marianna. Minha metade.

A Lenise e Maysa. Meus anjos.

MINHA HOMENAGEM

DEDICATÓRIA

Amo meu avô querido. Muitas saudades!

À tia Bia, Zezé, Fernanda, Caio e minha avó Áurea, que sempre estão comigo.

Às minhas eternas babás e segundas mães: Sula, Selma e Silma.

Aos meus amigos de uma vida toda: Emmanoel, Fausto, Giovanna, Hariane, Kellyn, Marcelo, João Neto, Oduvaldo e Yara.

Aos amigos que fiz nesses anos e que vão ficar pra sempre: Bruno (Pâmela), Ana Carolina (Carol), Carolina (Coca), Celso (Teco), Elizabeth (Frieira), Érica (Tuiuiú), Fausto, Fernando (Fruta), Gabriel (Akuda), Gisele (Toddinho), Letícia (Eva), Lizia (Ricota), Marina (Marreta), Marina (Path) e Vinícius (Pezão).

A Luciane Martello, minha amiga, companheira de trabalho e sempre guia na busca das melhores saídas.

À minha amiga e “sempre mestre” Isabel Dias Carvalho por ser incentivadora deste caminho.

À Laura e Jack, meus cães amados!

Aos meus novos mais novos amigos: Daniel, Kamilla, João Paulo, Luana e Pricila.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo e ao Curso de Pós-Graduação, pela oportunidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Holmer Savastano Jr., não apenas pela inquestionável orientação, mas também pelo incentivo, pela amizade, pela paciência, por depositar-me em mim confiança, e, principalmente por sua integridade ética e moral no exercício de sua profissão, a qual me servirá de exemplo por toda a vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Projeto Sisal através da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e SEBRAE/PB, pelo apoio financeiro.

Aos companheiros do Laboratório de Construções e Ambiente: Anderson, Amanda, Camila, Débora, Gustavo, Maldonado, Ronaldo, Thiago, Sérgio e Zaqueu.

Ao Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa, um amigo sempre presente na minha vida.

Aos professores Beraldo e Juliano pelos ensinamentos.

Aos professores: Cintra, Ernane, Rogério, Titto e Valdo.

As Professoras Marie-Ange Arsene, Ketty Bilba e Cristel, do Laboratório da Université des Antilles et de la Guyane (COVACHIN), onde fiz minha co-tutela.

Aos colegas da pós-graduação, pelo carinho e pelos bons momentos que passamos juntos.

A todos os funcionários da Biblioteca, que sempre se colocaram à disposição para o que precisei.

"Tenha em mente que tudo que você aprende na escola é trabalho de muitas gerações. Receba essa herança, honre-a, acrescente a ela e, um dia, fielmente, deposite-a nas mãos de seus filhos."

(Albert Einstein)

RESUMO

DI CAMPOS, M.S. **Placas planas à base de cinza de cama sobreposta de suínos e fibra de sisal para piso de escamoteadores com diferentes fontes de aquecimento.** 2010. 156 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.

A sustentabilidade das regiões de produção intensiva de suínos depende de destinos alternativos para os resíduos nelas gerados. A calcinação da cama sobreposta gera sílica vítrea que pode ser utilizada na substituição parcial de aglomerantes comerciais. A utilização de cinzas de casca de arroz como material pozolânico para a confecção de argamassas e concretos tem merecido atenção considerável, nos últimos anos, não apenas por melhorar as propriedades mecânicas de materiais cimentícios, mas, sobretudo pelos benefícios ambientais gerados, com a redução do consumo de clínquer. A falta de sustentabilidade ambiental pode limitar o crescimento econômico da suinocultura, dada a tendência do setor de crescimento concentrado em grandes empreendimentos, e, por conseqüência, do aumento da poluição provocada pelos dejetos. Com a busca de alternativas que solucionem ou minimizem tal problema, o objetivo geral deste trabalho foi o aproveitamento de resíduos agropecuários (cama sobreposta de suínos e fibra curta de sisal) para a fabricação de placas à base de compósitos cimentícios para escamoteadores com diferentes tipos de aquecimento (lâmpada incandescente e resistência elétrica). As cinzas de cama sobreposta de suínos substituíram 30% do cimento Portland. A matriz cimentícia resultante foi reforçada com fibra curta de sisal. Os resultados obtidos com a utilização da cinza da cama sobreposta de suínos valida seu uso como material de substituição parcial do cimento Portland. A temperatura ideal de calcinação é de 600 °C, com rampa de 5 °C/min durante 3 h. O material selecionado foi o passante na peneira ABNT Nº 200 (# 0,074 mm). A cinza da cama sobreposta de suínos

aumentou a condutividade térmica e a fibra de sisal incorporou o ar na placa e, assim, reduziu a condução do calor para a parte inferior. O melhor tratamento foi a utilização da placa em duas camadas com cinza de cama sobreposta e fibra de sisal, associada ao uso da lâmpada de 200 W.

Palavras-chave: bioclimatologia, casca de arroz, entalpia, leitões, suinocultura

ABSTRACT

DI CAMPOS, M.S. **Flat plate based swine deep bedding ashes and sisal fiber to piggys house floor with different heating sources.** 2010. 156 f. Thesis (Doctorate) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.

The sustainability of intensive areas of swine production depends on alternative destinations for the generated residues. The calcination of swine deep bedding generates vitreous silica for partial replacement of commercial binders. The use of rice husk ashes as pozzolanic material for mortars and concretes has deserved considerable attention in the last years, not just for improving their mechanical properties, but also for the environmental benefits linked to the reduction of clinker consumption. The lack of environmental sustainability can limit the economical growth of swine production, due to the tendency for concentration in sites with intensive activity, and, as a consequence, the increase of the contamination by wastes. Aiming alternatives that can minimize or decrease such problem, the objective of this work is to test the use of agricultural waste (swine deep bedding ashes and sisal fiber) for the manufacture of piggy`s house plates with different types of heating (filament lamps and electric resistance) on based cement composite materials. The swine deep bedding ashes replaced 30% of Portland cement. The resulting cementations matrix was reinforced with sisal fiber. The results obtained with the use of swine deep bedding ashes validates the use of this material for partial replacement of Portland cement. The optimal calcination temperature is 600 °C with rate of 5 °C/min for over 3 hours. The material selected should be as pass in ABNT sieve № 200 (# 0.074 mm). The swine deep bedding ashes increased the thermal conductivity and sisal fiber entrapped air in the plate and due to the pores incorporated there was a reduction in the heat conduction to the bottom. The best treatment was the plate

with two layers of swine deep bedding ashes and sisal fiber, associated with 200 W lamp.

Key words: bioclimatology, rice husk, enthalpy, piggys, swine production

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1. SUINOCULTURA.....	18
3.1.1. Suinocultura no Brasil	18
3.1.2. Produção sustentável de suínos	19
3.1.3. Conforto térmico na produção de suínos	24
3.1.4. Comportamento de suínos.....	36
3.2. RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS.....	39
3.2.1. Casca de arroz.....	40
3.2.2. Cama sobreposta de suínos	41
3.2.3. Fibra de sisal.....	44
3.3. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	44
3.3.1. Resíduos agropecuários para construções.....	44
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	50
4.1. Preparo dos materiais	50
4.1.1. Cama sobreposta de suínos	50
4.1.2. Fibra de sisal.....	54
4.1.3. Cimento CPV-ARI	54
4.1.4. Areia	55
4.2. Caracterização dos materiais.....	55
4.2.1. Cinza de cama sobreposta de suínos.....	55
4.2.2. Fibra de sisal.....	58
4.2.3. Cimento CPV-ARI	59

4.2.4.	Areia	59
4.3.	Compósitos	60
4.3.1.	Produção dos compósitos.....	60
4.3.2.	Caracterização dos compósitos.....	63
4.4.	Placas planas (Ensaio Laboratoriais).....	69
4.4.1.	Produção das placas	69
4.4.2.	Caracterização das placas.....	72
4.5.	Placas planas para piso de escamoteadores.....	78
4.5.1.	Moldagem da placa do Tratamento 1 (referência)	79
4.5.2.	Moldagem da placa para os Tratamentos 2 e 3.....	80
4.6.	Escamoteadores	82
4.6.1.	Animais e local do experimento	82
4.6.2.	Tratamentos.....	83
4.6.3.	Conforto Térmico	85
4.6.4.	Análise comportamental dos leitões	89
4.6.5.	Análise estatística	90
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
5.1.	Caracterização dos materiais.....	91
5.1.1.	Cinzas da cama sobreposta de suínos	91
5.1.2.	Fibra de sisal.....	103
5.1.3.	Cimento CPV – ARI	104
5.1.4.	Areia	105
5.1.5.	Considerações parciais.....	105
5.2.	Compósitos	106
5.2.1.	Caracterização dos compósitos.....	106
5.3.	Placas planas (Ensaio Laboratoriais).....	113
5.3.1.	Caracterização das placas.....	113

5.3.2.	Considerações parciais.....	124
5.4.	Escamoteadores	124
5.4.1.	Conforto térmico	125
5.4.2.	Análise comportamental dos leitões	133
6.	CONCLUSÃO	137
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperaturas críticas alta (TCA), baixa (TCB) e de conforto térmico para suínos nas diferentes fases de criação	27
Tabela 2 – Valores críticos e metas na fase de maternidade.....	32
Tabela 3 – Mecanismos efetores na regulação da temperatura corporal de leitões na primeira semana de vida, estimulados pelo frio e pelo calor.....	33
Tabela 4 – Formulação dos compósitos cimentícios nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos (T2), fibras de sisal (T3) e cinzas de cama sobreposta de suínos + fibras de sisal (T4).....	60
Tabela 5 - Formulações utilizadas para as placas planas para os tratamentos	70
Tabela 6 – Formulações das placas planas utilizada nos escamoteadores para leitões nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)	78
Tabela 7 – Composição química das cinzas da cama sobreposta de suínos calcinadas a 600 °C e a 900 °C.....	91
Tabela 8 – Valores médios de Temperatura de Bulbo Seco (Tbs) e Umidade Relativa (UR) nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)...	122
Tabela 9 – Valores médios dos índices de temperatura e umidade (ITU), de globo negro e umidade (ITGU) nos três tratamentos	123
Tabela 10 – Médias dos índices entalpia (kJ/kg de ar seco), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e temperatura de superfície do piso (T ^o P) para os tratamentos de referência (T1), placa + lâmpada 200 W(T2) e placa + lâmpada 50 W + resistência elétrica (T3)	125

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o grande desafio dos produtores de suínos é a exigência da sustentabilidade ambiental das regiões de produção intensiva. O problema ambiental relacionado à questão dos resíduos na produção suína é um grande entrave à sua expansão. De um lado, existe a pressão pela concentração em pequenas áreas de produção e pelo aumento da produtividade, e de outro, que esse aumento não afete o meio ambiente.

Encontrar um modo de manejo adequado aos dejetos líquidos de suínos é o maior desafio para a sobrevivência das zonas de produção intensiva, em razão de uma parte dos riscos de poluição das águas superficiais e subterrâneas por nitratos, fósforo e outros elementos minerais ou orgânicos e do ar pelas emissões de **NH₃**, **CO₂**, **N₂O** e **H₂S** e, de outra parte, em função dos custos e dificuldades de tratamento de armazenamento, de transporte, de distribuição e de utilização na agricultura. Para a sobrevivência das zonas de produção intensiva de suínos, é preciso encontrar sistemas alternativos de aproveitamento dos resíduos gerados.

Com essa finalidade, foi desenvolvida a criação de suínos em cama sobreposta. Assim, os dejetos que eram anteriormente descartados no meio ambiente, passam a ter maior valorização agrônômica, visto que essa cama pode servir de adubo orgânico. Porém a utilização da cama sobreposta demanda áreas relativamente grandes para o seu aproveitamento. Este fato, associado aos problemas de custos e dificuldades de armazenamento e transporte, torna imprescindível o desenvolvimento de usos alternativos para esse resíduo. Porém, periodicamente essas camas têm que ser renovadas e, envolvendo grandes volumes, transformam-se em inconveniente ambiental. Os principais impactos causados ao meio ambiente são decorrentes do manejo impróprio dos resíduos, em razão da especialização e da concentração do número de granjas de suínos (DIESEL et al., 2002). Esses resíduos são normalmente lançados diretamente nos mananciais ou distribuídos no solo, como fertilizante (TAKITANE; SOUZA, 2001). Estudos realizados por Barnabé (2001) e Konzen (2000) asseveram que, em excesso, como já ocorre em algumas regiões de Santa Catarina (GUIVANT, 1996), esses resíduos podem contaminar o solo e o curso d'água, devido à quantidade de nitrogênio, orgânico e químico, contida nos dejetos. Esses elementos percolam para

as camadas mais profundas do perfil do solo, expondo a região a risco ambiental acentuado (PEREIRA, 2003). Segundo Segnfredo (2000), é necessário obedecer à reposição da exportação de nutrientes pelas produções agrícolas, o que implica altos investimentos em ativos ambientais para alcançar a fertilização adequada.

A solução para o problema é a calcinação em ambiente controlado e o aproveitamento das cinzas para substituição parcial do cimento Portland (DI CAMPOS, 2005). O emprego potencial da cama sobreposta de suínos como material pozolânico, em substituição parcial do cimento Portland na confecção de argamassas e compósitos fibrosos, por exemplo, resulta em substancial economia de energia e conseqüentemente em redução de custos (SALIN, 2005). Porém, a obtenção de cinza de cama sobreposta de casca de arroz com boas características, como amorficidade, exige temperatura, grau de moagem e duração de calcinação controlada (VASQUES, DI CAMPOS e SAVASTANO JR., 2008). A aplicação destas cinzas em materiais cimentícios também é pouco estudada. E a incorporação dessas cinzas, reforçadas com fibras de sisal para compostos cimentícios não foi muito discutida.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é o aproveitamento de resíduos agropecuários (cama sobreposta de suínos e fibra curta de sisal) para a fabricação de placas para piso de escamoteadores à base de compósitos cimentícios com dois tipos de aquecimento (lâmpada incandescente e resistência elétrica). Para substituição parcial do cimento Portland foram utilizadas as cinzas da cama sobreposta de suínos. A matriz cimentícia resultante foi reforçada com fibra residual de sisal.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar, selecionar, beneficiar e caracterizar os resíduos: cama sobreposta de suínos e fibra de sisal;
- Calcinar a cama sobreposta de suínos em diferentes temperaturas;
- Moer as cinzas da cama sobreposta de suínos;
- Fabricar os compósitos e placas planas à base de resíduos selecionados, para pisos de escamoteadores de leitões;
- Analisar o desempenho mecânico e da microestrutura dos compósitos;
- Avaliar a eficiência do sistema dos dois tipos de aquecimento, através de variáveis ambientais do interior dos escamoteadores;
- Avaliar o comportamento dos leitões nos escamoteadores com dois tipos de aquecimento, através da análise de imagens;
- Sugerir estudos futuros, baseado nos resultados e conclusão deste trabalho.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. SUINOCULTURA

3.1.1. Suinocultura no Brasil

As atividades relacionadas à suinocultura ocupam lugar de destaque na matriz produtiva do agronegócio brasileiro, destacando-a como uma atividade de importância no âmbito econômico e social (GONÇALVES e PALMEIRA, 2006).

O Brasil possui, atualmente, o terceiro maior rebanho mundial de suínos com mais de 33 milhões de cabeças, sendo superado apenas pelos Estados Unidos, com um rebanho superior a 60 milhões de animais, e pela China que possui o maior rebanho de suínos, com mais de 460 milhões de animais (ROPPE, 2008).

O valor da cadeia produtiva da suinocultura brasileira é estimado em US\$ 1,8 bilhões. Em 1970, o plantel era de 31,5 milhões de cabeças e a produção havia sido de 705 mil toneladas. Em 2007, com 33 milhões de cabeças, a produção aumentou para 2,825 milhões de toneladas. Portanto, em 36 anos, o crescimento do plantel foi de apenas 1,6% enquanto a produção aumentou 300% (SAAB e CLÁUDIO, 2009).

O crescimento do rebanho de suínos no Brasil tem se mantido praticamente constante, enquanto que o número de matrizes suínas decresceu nos últimos dez anos. Por outro lado, a produção de leitões cresceu significativamente, passando de 22,4 milhões em 1993 para quase 30,3 milhões em 2006. Estes números exemplificam, claramente, a evolução tecnológica do setor nesse período, graças a um forte trabalho dos técnicos e produtores, nas áreas de genética, nutrição e manejo (IBGE, 2008).

Segundo Saab e Cláudio (2009), no âmbito das exportações, o Brasil fechou o ano de 2007, com 607 mil toneladas de carne suína, correspondentes a 12% das exportações mundiais e representando uma retomada frente ao mercado internacional.

O principal destino das exportações brasileiras ainda é a Rússia, que sozinha é atualmente responsável por 45% do total exportado. Seguida por Hong Kong, com 18%; Ucrânia, com 9%; Cingapura e Argentina, ambas com 5%, e demais países. O mercado Russo, no ano de 2002, atingiu a impressionante participação de 80% das

compras de carne suína brasileira, caindo drasticamente nos anos posteriores devido à fixação de cotas no mercado externo, forçando o Brasil a buscar novos mercados, obtendo êxito nesta expansão (ROPPA, 2008).

Contudo, o grande filão do mercado ainda é o comércio interno, responsável pelo consumo da maior parte da carne produzida, totalizando 80% das 3,1 milhões de toneladas produzidas, sendo a maior parte produtos industrializados e embutidos (cerca de 65%).

Uma vantagem comparativa significativa para o Brasil na ampliação da sua participação no mercado internacional está na disponibilidade de terras agriculturáveis a serem exploradas e na capacidade de produção de grãos que o país apresenta. De uma área total de 845,94 milhões de hectares, o Brasil utiliza atualmente apenas 263,58 milhões de hectares para atividades agrícolas, ou seja, menos de 32% da área total. Isso reflete o potencial de expansão das fronteiras agrícolas do país e da capacidade de ampliação da produção de grãos.

A concentração da produção interna de está situada na Região Sul do País, representante da maior parte da produção brasileira. Santa Catarina lidera com aproximadamente 25,6% do total de animais produzidos, seguida pelo Rio Grande do Sul, com 16,3%, e Paraná, com 14,8%. Todavia, recentemente, temos observado a difusão da produção para a região Centro-Oeste do país, fato explicado pela maior oferta de milho e soja, propriedades com maior área para melhor dispersão dos dejetos.

Contudo, a suinocultura brasileira exhibe indicadores de produtividade de primeiro mundo, sendo o país mais promissor no crescimento da produção. Entretanto, sua exploração tradicional tem sido considerada pelos órgãos de controle ambiental, uma atividade potencialmente causadora de degradação ambiental (MIRANDA, 2007).

3.1.2. Produção sustentável de suínos

A produção de suínos é grande geradora de impactos ambientais, seja pelo consumo de recursos naturais, intervenção da paisagem ou pela geração de resíduos (MARTELLO, CASADO e SAVASTANO JR., 2002). Diante destes impactos, vem ocorrendo na última década uma consciência, principalmente entre

os profissionais da área, da necessidade da busca de novas tecnologias para que este impacto seja amortizado, procurando alcançar um desenvolvimento que seja sustentável.

Para que a suinocultura possa ser auto-sustentável, há a necessidade de se dispor ou desenvolver recursos que venham minimizar o odor e demais efeitos indesejáveis resultados desta atividade e diminuir o volume de material sólido. Há a necessidade de uma melhor definição de um sistema capaz de harmonizar a redução do potencial poluidor ambiental com as propriedades fertilizantes que apresentam os dejetos, e que seja compatível com a realidade econômica da atividade e dos criadores (PERDOMO, 2001).

3.1.2.1. Geração de resíduos

A suinocultura é reconhecidamente uma atividade de grande potencial poluidor, por produzir grandes quantidades de resíduos com altas cargas de nutrientes (fósforo e nitrogênio), matéria orgânica, sedimentos, patógenos, metais pesados (cobre e zinco utilizados nas rações como promotores de crescimento, por exemplo), hormônios e antibióticos (USDA; USEPA, 1999). Com isso, a atividade suinícola tem causado grande ônus ambiental pela poluição dos recursos naturais, como o solo e a água. Segundo Higarash, Kunz e Oliveira (2007), o modelo de produção atual, caracterizado pela criação intensiva e em confinamento, concentra grande número de animais em áreas reduzidas, o que aumenta ainda mais os riscos de contaminação ambiental.

O correto manejo e tratamento dos dejetos suínos deve ser considerado parte do processo produtivo, exigindo critérios técnicos para a escolha da tecnologia e o nível de tratamento desejado.

A poluição causada pelos dejetos de suínos tem pressionado os diferentes setores dessa atividade e os governos municipais, estaduais e federal a buscarem soluções que permitam a continuidade da mesma sem causar danos incompatíveis com o objetivo de conservar a qualidade ambiental (SEGANFREDO, 2007).

Os principais impactos causados ao meio ambiente são decorrentes do manejo impróprio desses resíduos, em razão da especialização e da concentração do número de granjas de suínos.

Uma das alternativas de reciclagem desses resíduos é o uso como fertilizante do solo, pois os nutrientes contidos, após mineralizados, podem ser absorvidos pelas plantas, da mesma forma que aqueles contidos nos fertilizantes químicos (LIMA, 2007). Ao contrário dos fertilizantes químicos, no entanto, que podem ser formulados para as condições específicas de cada cultura e solo, os dejetos de suínos apresentam, simultaneamente, vários nutrientes em quantidades desproporcionais em relação à capacidade de extração das plantas nos diferentes tipos de solos. Com isso, adubações em excesso e/ou continuadas com dejetos de suínos poderão ocasionar impactos ambientais indesejáveis. Entre esses, destacam-se os desequilíbrios químicos, físicos e biológicos no solo, poluição das águas, perdas de produtividade e de qualidade de produtos agropecuários e redução da diversidade de plantas e organismos no solo.

Para Di Campos (2005), quando usado de forma intensiva, os resíduos podem contaminar o solo e o curso d'água, devido à quantidade de nitrogênio, orgânico e químico, contida nos dejetos. Esses elementos percolam para as camadas mais profundas do perfil do solo, expondo a região a sério risco ambiental. Para tal situação, é necessário obedecer à reposição da exportação dos nutrientes pelas produções agrícolas, o que implica em altos investimentos em ativos ambientais para alcançar a fertilização adequada.

O exemplo do Estado de Santa Catarina é bastante interessante e merece ser citado. O estado possui um grande complexo agroindustrial de suínos e aves, com um plantel de cerca de 8,17 milhões de suínos (ROPPA, 2002). A maior parte da produção suína concentra-se nas regiões oeste e sul do estado e se caracteriza por pequenas propriedades (95,3% possuem até 50 ha), onde predomina a mão-de-obra familiar (SILVA, 2000; EMBRAPA SUÍNOS E AVES, 2003).

A pequena área das propriedades e o relevo acidentado da região fazem com que haja insuficiência de áreas agrícolas para a aplicação agronômica de todo o resíduo gerado pela suinocultura nessas propriedades (BERTO, 2004). Portanto, uma grande quantidade de dejetos é aplicada sobre o solo, sem passar por qualquer tipo de tratamento ou estabilização e sem levar em consideração critérios agronômicos e legais.

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos dejetos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de suínos, como é o caso de Santa Catarina e mais recentemente, o Estado de Goiás. A restrição de espaço e

a necessidade de atender cada vez mais as demandas de proteção ao meio ambiente, água de boa qualidade e alimento, tem colocado alguns paradigmas a serem vencidos, os quais se relacionam principalmente à questão ambiental (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Konzen (1983), o suíno adulto produz em média 0,27 m³ de dejetos líquidos por mês.

3.1.2.2. Cama sobreposta de suínos

A conscientização sobre aspectos relacionados ao bem-estar animal e à necessidade de redução de geração de resíduos e de minimizar os impactos ambientais, aliada ao interesse em oportunidades de comercialização em nichos de varejo, contribuíram para o recente interesse em sistemas alternativos de produção (CORDEIRO et al. 2007).

Problemas ambientais causados pela suinocultura são notórios em todas as regiões com alta concentração de animais (OLIVEIRA et al., 2002).

No Brasil, a forma mais usual de manejo de dejetos é o armazenamento em esterqueiras ou em lagoas e posterior aplicação no solo (KUNZ et al., 2004). As esterqueiras e lagoas, desde que corretamente dimensionadas e operadas, são uma opção de baixo custo para produtores que possuem áreas de cultivo suficientes, onde esses resíduos possam ser utilizados como fertilizante orgânico. Porém se não seguidas as recomendações agronômicas para essa prática, levando-se em conta o balanço de nutrientes, imprescindível para nortear a tomada de decisão e mitigar os impactos ambientais, esta prática pode ser considerada altamente poluidora (SEGANFREDO, 1999).

Como nova alternativa para solucionar o problema da poluição ambiental, desenvolveu-se a criação intensiva de suínos em sistema de cama sobreposta (SCS). De acordo com Oliveira (2000), o SCS consiste na criação dos animais sobre camas de material absorvente, impedindo o escoamento de dejetos (sólidos ou líquidos) para fora do galpão. Dentre os materiais empregados como camas tem-se: palha de cereais, maravalha, casca de arroz, dentre outros.

O SCS é uma alternativa técnica e economicamente viável para sistemas de produção que exijam a utilização de lagoas ou esterqueiras para armazenar os

dejetos dos animais (TINOCO et al., 2007). Com índices zootécnicos semelhantes aos do sistema convencional (cimento), o SCS substitui o piso de cimento para os animais, dando-lhes mais liberdade de expressão (bem-estar animal) e reduzindo o índice de canibalismo entre os animais de um mesmo lote. Outra vantagem do SCS é que além de absorver o esterco e urina, faz com que ocorra a compostagem dos dejetos (composto orgânico com relação C/N<20), diminuindo o risco de poluição gasosa e presença de odores indesejáveis no ambiente.

O uso de camas sobrepostas no piso, como alternativa ao tradicional piso de concreto tem se tornando comum na criação de suínos nas fases de crescimento e terminação, pois elimina a necessidade da utilização de lagoas para tratamento de dejetos, além de proporcionar melhor qualidade ambiental para os animais. O material de cama, geralmente orgânico, altera as características de dureza do piso e evita a umidade, o frio e a aderência dos dejetos facilitando sua remoção ao final de cada ciclo de criação, de acordo com Lancini (1986, apud CORRÊA, 2008). Devido a disponibilidade, hoje no Brasil, os materiais mais utilizados como cama sobreposta para suínos são a maravalha e a casca de arroz.

As camas constituem opção satisfatória para economia total de água de limpeza de pisos de concreto e para se evitar o lançamento de águas residuárias nos cursos d'água (OLIVEIRA et al., 2007).

Em geral, o conforto térmico de animais criados em cama de maravalha, cama de casca de arroz ou piso de concreto mantém-se no intervalo aceitável para suínos nas fases inicial (25 a 75 kg), de crescimento e terminação (CORRÊA, 2008).

Segundo Tinôco et al. (2007), suínos terminados em sistema de cama apresentaram menor incidência de anomalias, expressavam seu comportamento natural, brincando mais e ainda, apresentaram menos lesões nas carcaças que os terminados em sistema de confinamento com piso de cimento. A presença de palha na baia de suínos de dez semanas de idade provocou redução no comportamento de fuçar e morder os companheiros de baia. Os sistemas de criação em cama sobreposta não influenciaram o ganho de peso, o consumo de ração, a conversão alimentar e o consumo de água.

O sistema de criação de suínos em cama sobreposta representa uma tecnologia de manejo de dejetos de suínos na fase sólida onde a cama, constituída de maravalha, casca de arroz ou outros substratos, é utilizada em substituição ao piso convencional para a alocação dos animais (OLIVEIRA e NUNES, 2002).

Esse sistema permite a incorporação das fezes e urina do animal diretamente na cama, eliminando o dejetos líquido e diminuindo a geração de odores e a proliferação de moscas. Uma outra vantagem refere-se aos baixos custos de implementação e operacionalização do sistema, o que diminui a necessidade de estruturas de processos complementares de tratamento, haja vista que a estabilização do dejetos já se inicia na própria cama e é acelerada pelo revolvimento dela pelos animais (OLIVEIRA et al., 2002; AMARAL et al., 2002).

3.1.3. Conforto térmico na produção de suínos

O suíno é um exemplo de animal cujo conforto vem sendo prejudicado pela intensificação da produção, caracterizada pela restrição do espaço, movimentação e interação social (PUTTEN, 1989), o que traz consigo o detrimento de seu conforto térmico, assim como da sua produtividade. Segundo Sampaio (2004), a determinação das exigências de bem-estar animal em relação à saúde e à economicidade da produção, constitui um grande desafio para a simplificação do manejo, a redução de custos e o aumento da produtividade.

O ambiente de criação intensivo possui influência direta na condição de conforto e bem-estar animal, promovendo a manutenção do balanço térmico no interior das instalações, na qualidade química do ar e na expressão de seus comportamentos naturais, afetando o desempenho produtivo e reprodutivo dos suínos. O ambiente físico, por abranger os elementos meteorológicos que afetam os mecanismos de transferência de calor, a regulação e o balanço térmico entre o animal e o meio, exerce forte influência sobre o desempenho e a saúde dos animais, segundo Ashrae (1983, apud PANDORFI et al., 2005).

A criação de suínos no Brasil encontra desafios climáticos que podem interferir na produtividade. As altas temperaturas ambientais e as grandes amplitudes térmicas, características do clima tropical, fazem com que o suíno, com seu pouco eficiente sistema de termorregulação tenha dificuldades em manter a sua homeotermia (SARUBBI, 2005).

O desempenho produtivo e reprodutivo dos animais depende do sistema de manejo empregado, que envolve o sistema de criação escolhido, da nutrição, da sanidade e das instalações. Essas instalações, que demandam maior volume de

investimento fixo inicial, são construídas em função dos custos e facilidades para o tratador, ficando negligenciado o conforto do animal (TOLON e NÃÃS, 2005).

Os suínos são animais que, em decorrência de suas características fisiológicas, têm seu desempenho reduzido quando expostos as condições de calor excessivo (TINÔCO et al., 2007).

Segundo Nããs (2007), as perdas de calor, nos suínos, se dão por condução, radiação, convecção e evaporação da água de seu micro ambiente, ou sua pele.

Quando a temperatura do ambiente ultrapassa o limite superior da zona de conforto, os suínos reagem através da dissipação de calor utilizando os mecanismos sensíveis como condução, convecção, radiação e mecanismos latentes de evaporação. Os mecanismos de condução, convecção e radiação dependem da existência de gradiente de temperatura entre o animal e o ambiente.

- Radiação: é a transferência de energia térmica de um corpo a outro através de ondas eletromagnéticas.

- Condução: é o mecanismo de transferência de energia térmica entre corpos, entre partes de um mesmo corpo, por meio de energia cinética da movimentação de elétrons livres. É necessário o contato direto entre as moléculas dos corpos ou superfície nela envolvida. Esse fluxo passa das moléculas de alta energia para aquelas de baixa energia, ou seja, de uma zona de alta temperatura para outra de baixa temperatura. O animal ganha ou perde calor por condução através de contato direto com substâncias frias ou quentes, incluindo o ar, a água e materiais sólidos.

- Convecção: é a perda de calor através de uma corrente de fluido (líquido ou gasoso) que absorve energia térmica em um dado local e que então se desloca para outro local, onde se mistura com porções mais frias do fluido e para elas transfere a energia. A ventilação favorece as perdas de calor entre o suíno e o ambiente.

- Evaporação: é a troca de calor através da mudança do estado da água de líquido para gasoso, sendo este processo carreador de calor para fora do corpo animal. Nos suínos, a perda de calor por evaporação em ambientes quentes ocorre principalmente através do trato respiratório, liberando 0,58 calorias/g de água evaporada. A perda de água por evaporação depende da pressão de vapor d'água. À medida que aumenta a umidade relativa do ar, a perda de calor por evaporação diminui.

Quando a temperatura ambiente aumenta, o animal deve aumentar a perda de calor pela vasodilatação periférica, aumento da respiração e com respostas

comportamentais. E deve também, diminuir a produção de calor pela diminuição do tônus muscular e atividade voluntária, diminuição da secreção de hormônio da tireóide e pela diminuição do apetite (Hannas, 1999).

De acordo com Nããs (2007), a termólise e a termogênese, que ocorrem durante a termorregulação, envolvem as trocas térmicas secas de condução, radiação, convecção, e a troca térmica úmida de evaporação. O animal aciona esses mecanismos regulatórios, de acordo com a temperatura ambiente, comparativamente à zona termoneutra. Os componentes não evaporativos constituem o calor sensível, e representam 40 % da produção total de calor animal e este mecanismo é acionado quando as temperaturas estão abaixo de sua região de conforto, sendo dissipado e aquecendo o ambiente. A associação de temperaturas altas à umidade elevada constitui uma situação de altos valores de entalpia limitando os mecanismos termorreguladores, como a evaporação respiratória.

Segundo Sampaio et al. (2004), para se obter a máxima produtividade animal, as edificações devem oferecer aos suínos as condições ambientais próximas das ideais com aquelas relacionadas às temperaturas de conforto térmico. Principalmente se considerarmos que os suínos são animais com poucos recursos termorregulatórios.

Manno et al. (2005), afirma que a primeira condição de conforto térmico dentro de uma instalação é que o balanço térmico seja nulo, ou seja, o calor produzido pelo organismo animal somado ao calor ganho do ambiente seja igual ao calor perdido pelos animais através da radiação, da convecção, da condução, da evaporação e do calor contido nas substâncias corporais eliminadas.

O conforto térmico ambiental era considerado um problema secundário, tanto do ponto de vista etológico quanto produtivo. Presumia-se que o desconforto térmico seria resolvido com o uso de condicionamento artificial, sem se considerar os custos e os problemas relacionados à implantação de um sistema climatizado (MANNO et al., 2005). Porém, segundo Silva et al. (2006), na última década, a preocupação com o conforto térmico animal tem crescido notoriamente, principalmente quando associada às respostas fisiológicas e aos respectivos índices produtivos.

O ambiente inadequado à sobrevivência, principalmente no que se refere às altas temperaturas e às grandes amplitudes térmicas, é ainda considerado como portador de fatores de risco às doenças respiratórias, que trazem muitos prejuízos à suinocultura brasileira (SARUBBI, 2005).

Os métodos de estimativa de transferência de calor por condução, convecção, radiação e evaporação, segundo Sampaio (2004), são afetados diretamente pela temperatura do ar, que é o principal elemento climático a ser considerado nos aspectos de produção de animais em confinamento, sendo que para temperaturas ambientes acima de 30 °C predominam as perdas de calor por processos evaporativos.

A zona de conforto térmico para suínos nas primeiras semanas de vida (Tabela 1) é limitada pela temperatura crítica baixa (TCB), ou seja, pela temperatura ambiental abaixo da qual o animal aciona seus mecanismos termorregulatórios no sentido de produzir calor para balancear a dissipação de calor para o ambiente frio, e pela temperatura crítica alta (TCA), que é a temperatura ambiental acima da qual ocorre a termorregulação no sentido de auxiliar o animal na dissipação de calor corporal para o ambiente. Pode ser citada, como reação às temperaturas fora da zona de conforto térmico, a ocorrência de tremor muscular quando a temperatura está abaixo da temperatura crítica inferior, ou de respiração acelerada ou suor, quando essa temperatura está acima da crítica superior (CURTIS, 1983).

Tabela 1 – Temperaturas críticas alta (TCA), baixa (TCB) e de conforto térmico para suínos nas diferentes fases de criação

Fase do animal	TCB (°C)	Temperatura de conforto térmico (°C)		TBA (°C)
		Mínima	Máxima	
Leitão nascido	15	30	32	35
1ª semana	15	27	28	35
2ª semana	13	25	26	35
3ª semana	12	22	24	35

Fonte: Adaptada de Sampaio (2004).

A umidade relativa do ar, normalmente não se constitui em um problema no desempenho dos suínos, a não ser quando associadas a altas temperaturas. Umidade relativa superior a 85%, em ambientes com temperaturas elevadas, conduz a aumentos da frequência respiratória e temperatura retal (NÃAS, 1989).

O ambiente térmico, seja de uma área sombreada ou não sombreada, é avaliado em função de índices de conforto térmico. Normalmente, estes índices consideram os parâmetros ambientais de temperatura, umidade, vento e de radiação, sendo que cada parâmetro possui um determinado peso dentro do índice, conforme sua importância relativa ao animal.

A condição de bem-estar do animal afeta o consumo de alimentos. De acordo com Baêta e Souza (1997), sob estresse calórico, os animais normalmente reduzem a ingestão alimentar na tentativa de minimizar o aumento do calor corporal.

Os suínos, quando submetidos ao estresse por calor apresentam uma respiração mais superficial e pouco eficiente para dissipar o calor corporal em virtude do menor tempo disponível para a saturação do ar expirado. Assim, para manter a temperatura corporal constante, aceleram a respiração, aumentam a sudorese, reduzem a ingestão de alimentos e aumentam a ingestão de água (MOREIRA et al., 2003).

Os índices de conforto térmicos mais usados são o de THOM (1958), denominado de índice de temperatura e umidade (ITU) que associa a temperatura de bulbo seco e a temperatura do bulbo úmido e o desenvolvido por Buffington et al. (1981), que propuseram um índice que considera em um único valor os efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade do ar, do nível de radiação e da movimentação do ar, que denominaram de índice de umidade e temperatura de globo (ITGU).

Segundo Buffington et al. (1981), o ITGU é um indicador mais preciso do conforto térmico e da produção animal quando comparado ao ITU em condições ambientais onde a radiação solar ou a movimentação do ar sejam altas. Sob condições moderadas de radiação solar os dois itens são igualmente eficientes. E quando se compara medições em locais com e sem cobertura, os ITUs não apresentaram diferenças significativas, enquanto que o ITGU apresentou diferenças significativas, principalmente para locais sem cobertura.

3.1.3.1. Maternidade

Dentro dos princípios de conforto térmico e bem-estar animal, observam-se as diferentes necessidades ambientais na maternidade, onde se tem dois ambientes

distintos a serem avaliados, um para as matrizes lactantes e o outro para os leitões, sendo este um grande problema do produtor de suínos, pois, em um pequeno espaço físico, ele é obrigado a proporcionar dois microambientes diferentes e, em caso contrário, o desempenho, tanto das porcas quanto dos leitões, não será positivo (FERREIRA et al., 2007).

Para English (1998), fatores ambientais externos e o microclima dentro das instalações exercem efeitos diretos e indiretos sobre os suínos em todas as fases de produção, e acarretam redução na produtividade, com conseqüentes prejuízos econômicos à exploração suinícola.

De acordo com Manno et al. (2005), o efeito da estação do ano sobre a natimortalidade e mortalidade dos leitões, do nascimento até 21 dias de idade, depende, entre outros fatores, da infra-estrutura da maternidade e de sua temperatura interna. Portanto, se as instalações não forem bem projetadas, tanto a zona de conforto da porca, como dos leitões, serão afetadas com estresse calórico e frio, respectivamente.

Os suínos, por suas características fisiológicas, possuem dificuldades em adaptação às flutuações térmicas ambientais. A faixa de temperatura para seu conforto varia com a idade. Para o leitão, no nascimento a faixa de conforto está entre 32 e 34°C e, aos 35 dias, entre 29 e 31 °C, sendo que a temperatura ideal para a matriz está entre 16 e 21 °C (PANDORFI, 2002).

A temperatura corporal do recém nascido cai de 1,7 a 6,7 °C, logo após o nascimento. O tempo que o leitão leva para alcançar novamente valores de temperaturas normais (39 °C) depende diretamente da temperatura ambiente, do seu peso corporal e do momento em que começa a se amamentar (MANNO et al., 2005).

No caso das matrizes, ocorre redução de quantidade do leite produzido, inibição ou atraso do comportamento estral, decréscimo na taxa de concepção e aumento da mortalidade embrionária. Altas temperaturas dentro das instalações influenciam negativamente a eficiência reprodutiva. Em locais onde as temperaturas no verão foram superiores a 24°C, verificou-se a diminuição da fertilidade das fêmeas suínas, altas porcentagens de retorno ao cio, atraso da maturidade sexual e maior mobilização de gordura corporal durante a lactação (MOREIRA et al., 2003).

As mudanças na temperatura da superfície corporal (pele) dos suínos, que são resultado de respostas do sistema vasodilatador, são mais evidentes nas regiões extremas do corpo do animal do que nas regiões centrais (NECHOCHEA, 1986).

Para alcançar um início adequado e até mesmo garantir a sobrevivência do leitão, é fundamental limitar o consumo de suas escassas reservas energéticas pelo fornecimento de um microambiente adequado (MOUNT, 1975).

Segundo Souza (2008), a fase de maternidade tem grande importância e acaba influenciando em toda a saúde e sobrevivência do suíno durante seu ciclo produtivo. A importância da ingestão do colostro (primeiro leite) para o leitão é devido ao fato de que o animal nasce praticamente sem nenhuma proteção contra agentes patogênicos, que se encontram em seu novo ambiente. Além disso, todos os anticorpos ou imunoglobulinas desenvolvidas pela porca e que darão proteção ao leitão contra infecções não são transferidos para esses animais pela placenta e portanto a única forma de fazer com que eles recebam esta proteção é através do primeiro leite da porca e das seguintes mamadas ao longo dos 21 dias d fase de maternidade.

O melhor ganho de peso na fase de aleitamento apresentará reflexo positivo nas fases subseqüentes de crescimento dos animais. Assim, segundo FERREIRA et al. (2007), a descrição do comportamento e de parâmetros fisiológicos de leitões em lactação é de fundamental importância para propor técnicas de manejo que melhor se ajustem às novas linhagens genéticas de suínos existentes nas criações comerciais.

3.1.3.2. Leitões

O período de 2 a 3 dias após o nascimento representa o período mais crítico para a sobrevivência dos leitões. A taxa de mortalidade dos leitões quando a temperatura ambiente é de 25 °C é de 6%, enquanto q ue a 10°C, a mortalidade é de 31% segundo Souza et al. (2007). A interação do frio ambiental com outros fatores, como umidade e mau manejo, pode provocar perdas de 50-100% da leitegada. A redução da temperatura de 30-32 °C para 18-20 °C pr ovoca uma diminuição no consumo de colostro de 17,6 f para 12,3 g por mamada, diminui a temperatura retal

e provoca um acréscimo da produção de calor de 132 para 209 kcal/kg/dia, isso segundo Souza (2008).

O leitão recém nascido possui os sistemas de termorregulação e imunitário pouco desenvolvidos, tornando-se sensível às temperaturas ambientais baixas. Moreira et al. (2003) descrevem que leitões são sensíveis ao frio decorrente de uma grande superfície específica do corpo, apresentam poucos e esparsos pêlos, são praticamente desprovidos de gordura subcutânea (1 a 2%), escassas reservas de glicogênio e gordura, que confirmam um quadro ineficiente na luta contra o frio. Nessas condições, o leitão reduz sua atividade motora e, conseqüentemente, diminui a ingestão de colostro, acarretando maior incidência de doenças, maior número de leitões esmagados e alta taxa de refugos na desmama, sendo necessário a adoção de alguns cuidados especiais. A regra básica é fornecer aos leitões um ambiente limpo, desinfetado, seco e aquecido. Isso significa investir em piso adequado e em sistemas de aquecimento que apresentem bom desempenho (PERDOMO et al., 1987).

Ferreira et al. (2007) afirmaram que, mesmo mamando, o leitão pode ter hipoglicemia quando associada ao estresse gerado pelo frio ou ainda quando combinada ao inadequado suprimento de leite pela porca.

Os principais fatores que afetam a resistência dos leitões ao frio, segundo Souza et al. (2007) são:

- Consumo de colostro – elevada e rápida disposição de colostro para os leitões ao nascer é essencial não apenas para adquirir imunidade contra as doenças, mas também para assegurar suficiente suprimento de energia para a produção de calor.

- Idade e peso ao nascer – o peso ao nascer é um componente importante de resistência ao frio dos leitões recém nascidos, leitões mais pesados são mais resistentes ao frio. A pouca habilidade de pequenos animais comparado aos grandes, em manter o balanço homeotérmico durante a exposição ao frio, é explicada pela sua maior taxa de massa corporal ou de superfície corporal, que contribui para aumentar as perdas de calor.

- Genética – A resistência ao frio é, em alguns casos dependente do genótipo do animal. Isto tem sido demonstrado quando são comparado leitões selvagens e domésticos. A resistência dos leitões selvagens é maior devido ao bom isolamento da pelagem e a mais pronunciada habilidade em utilizar a gordura.

Os índices zootécnicos em relação aos leitões estão presentes da Tabela 2, de acordo com Fávero (2003).

Tabela 2 – Valores críticos e metas na fase de maternidade

Indicadores	Valor crítico*	Meta
Nº de leitões nascidos vivos/parto	< 10,0	>10,8
Peso médio dos leitões ao nascer (kg)	<1,4	>1,5
Taxa de leitões nascidos mortos (%)	>5,0	<3,0
Taxa de mortalidade dos leitões (%)	>8,0	<7,0
Leitões desmamados/parto	<9,2	>10,0
Média de leitões desmamados/porca/ano	<19,3	>23,0
Ganho médio de peso diário dos leitões (g)	<200	>250
Peso dos leitões aos 21 dias (kg)	<5,6	>6,7

Fonte: Fávero (2003).

Em geral, os criadores de suínos não protegem os leitões contra o frio. Estudos conduzidos pela EMBRAPA–CNPSA, Concórdia (SC), na Região Sul do Brasil, revelaram que 88% das edificações amostradas não dispõem de qualquer sistema de proteção para os leitões quanto as temperaturas estiverem abaixo da faixa de conforto (SOBESTIANSKY et al., 1993).

Segundo Necoechea (1986), para se atingir o conforto térmico dos leitões é necessário manter, no interior de um escamoteador vedado e aquecido, um ITGU entre 82 e 84, enquanto na maternidade, o ITGU não deve ultrapassar a 72.

Para manter a temperatura corporal constante, os suínos lançam mão de alguns artifícios fisiológicos, caso estejam sendo submetidos à temperaturas que estejam fora de sua zona de termoneutralidade. Estes artifícios estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Mecanismos efetores na regulação da temperatura corporal de leitões na primeira semana de vida, estimulados pelo frio e pelo calor

Situação	Mecanismo
<i>Estimulado pelo frio</i>	
Diminuição da perda do calor	Vasoconstrição periférica Resposta comportamental (animais agrupados) Aumento tônus muscular
Aumento da produção de calor	Termogênese e aumento da atividade voluntária Aumento na secreção de hormônio da tireóide Aumento do apetite
<i>Estimulado pelo calor</i>	
Aumento da perda de calor	Vasodilatação periférica Aumento na perda de calor – respiração Respostas comportamentais (animais separados)
Diminuição da perda de calor	Diminuição tônus muscular e atividade voluntária Diminuição na secreção do hormônio tireóide Diminuição do apetite

Fonte: Adaptado de Hannas (1999) e Xin (1999).

3.1.3.3. Escamoteadores

Na maternidade, o controle das condições ambientais é mais complexo que nas demais instalações, pois o projeto deve atender a microambientes específicos para as matrizes e para os leitões, além de protegê-los contra um possível esmagamento (SILVA, PANDORFI, e PIEDADE, 2005).

Para evitar o esmagamento, normalmente são projetadas gaiolas, com proteções e delimitações de áreas destinadas aos leitões, chamadas escamoteadores, que possibilitam poucos movimentos à fêmea. Para o conforto térmico dos leitões, mantém-se um abrigo, vedado e aquecido por meio de lâmpadas ou resistências elétricas, procurando manter no seu interior a temperatura em torno de 30 °C, enquanto que na maternidade não deveria ultrapassar a 25 °C (HOLANDA et al., 2005).

Pereira e Passos (1998, apud FERREIRA et al., 2007), trabalharam com leitões recém nascidos nos quais a variação da temperatura corporal foi monitorada, tendo os autores concluído que o controle da temperatura ambiental, com o uso de escamoteadores e aquecimento, é imprescindível para auxiliar os leitões recém nascidos na manutenção de sua homeotermia, o que também pôde ser confirmado por Pandorfi et al. (2004).

Os escamoteadores podem oferecer muitas vantagens, como por exemplo: evita que correntes de ar atinjam diretamente os leitões; diminuir esmagamentos e concentrar o aquecimento dentro do escamoteador e assim evitar o aquecimento da porca. Na suinocultura, o maior ganho de peso nos leitões acontece na época mais fria do ano, pois porcas em lactação produzem mais em temperaturas mais baixas. Por essa razão é indicado o escamoteador como abrigo aos leitões recém nascidos, fornecendo calor à esses animais contribuindo para o seu conforto térmico (PERDOMO, 2001).

A determinação da temperatura no ambiente em que os animais são expostos é de fundamental importância para o entendimento do comportamento e adequada distribuição dos animais no abrigo escamoteador (SILVA, PANDORFI, e PIEDADE, 2005).

Pandorfi (2005) e Silva (1999), testaram diferentes sistemas de aquecimento em escamoteadores e observaram que a temperatura interna deste varia. O aquecimento proporcionado aos leitões por lâmpada incandescente e/ou resistência elétrica foi o que mais se aproximou da faixa de conforto térmico dos animais, que é de 28 a 32 °C, nas primeiras semanas de vida.

Pereira e Passos (1998), trabalhando com leitões recém-nascidos nos quais a variação da temperatura corporal foi monitorada, concluíram que o controle da temperatura ambiental com o uso de escamoteadores e aquecimento é

imprescindível para auxiliar os leitões recém-nascidos na manutenção de sua homeotermia, o que foi confirmado por Pandorfi (2002).

3.1.3.3.1. Tipos de aquecimento

Da mortalidade na maternidade, cerca de 70%, ocorrem na primeira semana de vida. As causas são inúmeras e a grande maioria de natureza não infecciosa, como esmagamento e inanição (FERREIRA et al., 2007).. A inanição, por sua vez, causada por causa da agalaxia, exposição ao frio ou sangramento do umbigo. Na falta de aquecimento artificial, os leitões que não são amamentados, principalmente, tornam-se hipoglicêmicos e procuram aquecimento junto à mãe. Isso, muitas vezes, resulta no esmagamento destes indivíduos. Os leitões mais fracos são os mais atingidos, representando cerca de 65% do total de perdas nesta fase.

Segundo Vasques, Di Campos e Savastano Jr. (2008), os sistemas auxiliares de conforto térmico para os leitões podem ser encontrados em diversas formas, tais como campânulas a gás, campânulas elétricas, lâmpadas infravermelhas, fornalhas e placas aquecidas por meio de resistências elétricas.

No entendimento bioclimático dos leitões, Pandorfi et al. (2004), apontou o piso térmico como o mais eficiente nas trocas de calor sensível por condução (contato), promovendo melhor condição de conforto aos animais.

Abreu (1994, apud Rossi, Cardoso e Beraldo, 2005) demonstrou que o sistema de placas aquecidas apresenta melhores resultados quando comparado aos outros, principalmente pelo fato de que esse sistema supre o calor de baixo para cima, ao contrário dos demais. Também é relevante que, no sistema de placas aquecidas, não há emissão de gases tóxicos, consumo de oxigênio, risco de explosões ou a criação de condições ambientais que modifiquem o comportamento dos animais.

Silva, Pandorfi e Piedade (2005), verificaram que, no tratamento piso térmico, houve maior frequência de acesso dos leitões ao longo do dia, praticamente em todos os horários pois, em 89% do tempo (24 h), constatou-se a presença de pelo menos 1 leitão no interior do abrigo, variando com a temperatura na sala de maternidade visitada e aquele onde os leitões permaneceram por mais tempo. Os autores concluíram que o tratamento piso térmico é aquele que melhor representa a condição térmica ambiental considerada mais adequada para os leitões.

O termostato, que regula a temperatura da placa aquecida, é um instrumento que permite corrigir as deficiências de manejo da fonte de calor e mantém o ambiente sempre estável, com economia de energia de 30 a 50% em relação ao sistema sem sua utilização, de acordo com Sarubbi (2005).

3.1.4. Comportamento de suínos

Ao encontro das demandas de mercado, diversos autores vêm pesquisando o bem-estar animal utilizando tecnologias complexas, devido à importância deste tema na atualidade (MARCHANT, ANDERSEN e ONYANGO, 2001; PEREIRA, 2003). Como as variáveis fisiológicas são difíceis de medir em condições de campo, os estudos do comportamento têm se mostrado os mais viáveis para inferir sobre os níveis de bem-estar para suínos. O animal é fortemente influenciado no seu comportamento pelo ambiente externo, e conhecendo como esse atua sobre o animal por meio do comportamento, é possível identificar e quantificar o bem-estar dos animais.

Graves (1982), conceitua o comportamento animal como sendo uma janela entre o organismo vivo e o exterior, ou seja, o ambiente externo, que é composto pelas variáveis climáticas e sociais, atua sobre o animal positiva ou negativamente, e esse reage, dentre outros mecanismos biológicos, morfológicos e fisiológicos, através do seu comportamento.

Os aspectos sociais, principalmente os baseados no comportamento das aves, tornam-se cada vez mais evidentes na exploração suinícola moderna, face à importância do ambiente em que os suínos estão sujeitas. CAMPOS (2000), considera fundamental a identificação de fatores responsáveis pelo bem-estar das aves, uma vez que a exploração avícola atual, fundamentalmente, é baseada na mudança de comportamento dos leitões e pintainhos. Há que se destacar, também, o relato de SNOWDON (1999), sobre o desenvolvimento alcançado em importantes conceitos relativos à adaptação ao estresse, em função das pesquisas com animais.

O estudo do comportamento animal torna-se uma importante ferramenta para a avaliação dos sistemas de criação, além de fornecer muitas respostas a questões básicas da etologia (BARBOSA FILHO et al., 2007). Porém dentro das instalações não há muitas possibilidades de expressão, devido aos limites do confinamento, o

que faz com que haja uma redução do número de reações demonstradas pelas espécies frente às situações de estresse (LIMA et al., 2006).

Leitões e pintainhos nas suas primeiras semanas de vida são sensíveis às variações de temperatura tendo como comportamento característico se agruparem quando sentem frio ou se dispersarem o máximo possível quando em calor, também animais que passam maior parte do tempo no bebedouro, ao invés de se alimentarem, indicam um possível estresse térmico, assim como aves adultas com asas e bico abertos entre outros (LIMA, MOURA e SILVA, 2006). A falta de movimentação também deve ser levada em consideração, como apatia, doença, dificuldade de locomoção assim, como agressividade exacerbada por disputas por alimentos podendo ser indicativo de erro no arraçoamento, onde segundo Nääs (1994), o conhecimento do estado do conforto animal e bem-estar vêm acrescentar melhorias nas técnicas de manejo. Várias são as atitudes dos animais demonstradas durante situações de bem-estar insipiente cabendo ao homem a interpretação correta para se alcançar o máximo produtivo dos animais.

De acordo com Pandorfi et al. (2004), os animais exibem o nível de conforto térmico apresentando comportamentos distintos, ora amontoados, ora agrupados lado a lado ou esparsos. Esses são os padrões de postura dos leitões que se submetem ao frio, ao conforto e à sensação de calor, respectivamente.

3.1.4.1. Zootecnia de precisão

3.1.4.1.1. Análise de imagens

A caracterização de bem-estar animal através da expressão de seu comportamento normal em confinamento só é possível quando se faz o uso de técnicas não invasivas de monitoramento (LIMA, MOURA e SILVA, 2006). É por isso que a análise de imagens tem se destacado dentre as ferramentas que são utilizadas para o estudo do comportamento dos animais. Segundo Xin (1999), um sistema adequado para a análise de imagens deverá ser constituído por uma microcâmera, uma placa de captura de imagem instalada em computador e um

programa que execute a aquisição, o processamento e a classificação das imagens dos animais.

A avaliação e os controles interativos do conforto térmico dos suínos, pela análise de imagem, superam os problemas inerentes ao método convencional, pois utiliza-se o próprio animal como um biosensor, em resposta aos reflexos do ambiente por meio da análise comportamental (XIN e SHAO, 2002).

Como a classificação do estado de conforto térmico depende do padrão comportamental dos suínos, a extração minuciosa de atributos se torna necessária para selecionar imagens que contenham informações suficientes para diferenciar os diversos estados de comportamento (SILVA et al., 2004).

A coleta de dados comportamentais permite a avaliação do bem estar dos animais, perante as condições climáticas (PERISSINOTO, 2003).

Lima, Moura e Silva (2006), afirmaram que as aplicações da análise de imagem, para caracterização do comportamento animal frente a situações extremas vividas em confinamento, foram primeiramente desenvolvidas em ambientes controlados, onde eram feitas simulações em câmaras climáticas para visualização postural de suínos em diferentes temperaturas.

Wouters et al. (1990 apud Moura e Figueiredo, 2006), propuseram um método baseado na análise de imagens de leitões através do comportamento de agrupamento e dispersão destes animais, caracterizando com isso, o estado de frio e calor, respectivamente. A importância deste trabalho deve-se a necessidade do controle térmico do ambiente ideal para a manutenção do ótimo estado de produção dos animais em confinamento. Geer et al. (1986) relataram que o uso de parâmetros de imagens comportamentais com variáveis de entrada compostas por temperaturas ambientais, podem controlar eletronicamente o ambiente dos suínos.

A partir deste trabalho, outros surgiram, como Shao et al. (2002), que conduziram um estudo que classificou o ambiente térmico dos suínos em três categorias: estado de frio, de conforto e de calor, a partir da análise de imagens usando características espectrais do processamento de imagens, sendo estes dados utilizados como input para classificação com redes neurais. Com o emprego de algoritmos e técnicas de processamento de imagens automatizado, as pesquisas sobre comportamento térmico de leitões continuaram em desenvolvimento (Shao et al., 2002; Xin, 1999; Xin e Shao, 2005; Pandorfi et al., 2004; Silva et al., 2006). Também Silva et al. (2004), com o uso de um software, caracterizaram o

comportamento de leitões em maternidade de acordo com a dispersão destes animais em estado de frio, conforto e calor, através do cálculo do centro de massa da figura e a distância de cada pixel até este centro de massa.

Xin (1999) conduziu um estudo que classificou o ambiente térmico dos suínos em três categorias: estado de frio, de conforto e de calor, de acordo com o conforto térmico e bem-estar dos animais, que pode ser visto na Figura 1.

Fonte: Xin (1999).

Figura 1 – Classificação dos estados de comportamento térmico (frio, conforto e quente)

3.2. RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

A geração crescente de resíduos implica na necessidade de dispersá-los de forma segura, com mínimos prejuízos ambientais (ESMAY, 1974).

Diante desse fato, a cada ano os subprodutos industriais, usados como matéria prima alternativa na construção civil, estão mais valorizados e vem ganhando maior importância no aspecto ambiental e proporcionando novos desafios tecnológicos (SAVASTANO JR. e WARDEN, 2003).

Com o objetivo de reduzir a geração de resíduos nos processos industriais e agrícolas, principalmente os poluentes, bem como melhor reaproveitá-los, seja no próprio processo produtivo ou como matéria prima na elaboração de outros

materiais, Savastano Jr. (2000), afirma que é cada vez maior o investimento em pesquisas para a transformação destes em subprodutos de interesse comercial.

3.2.1. Casca de arroz

A casca de arroz, um dos mais abundantes resíduos agro-industriais, é um material fibroso composto principalmente por celulose, lignina e resíduo orgânico. Possui elevado volume e baixa densidade. Quando depositada, ocupa grandes áreas, onde pode ocorrer queima in situ com a decorrente dispersão das cinzas. Devido à sua lenta biodegradação, permanecem inalteradas por longos períodos de tempo, gerando enorme dano ao meio ambiente (DELLA, KUNZ e HOTZA, 2005).

Em termos de valores produzidos, para cada tonelada de arroz em casca, 23% correspondem a casca, e 4% correspondem a cinzas (DI CAMPOS, 2005).

A produção mundial para a safra de 2004 foi de 608 milhões de toneladas (FAO, 2008).

O Brasil com uma produção de 13.356.300 toneladas ocupa o 9º lugar na lista dos maiores produtores mundiais³, com uma produção anual de aproximadamente 534.252 toneladas de cinzas. Sem valor comercial em consequência de sua dureza, fibrosidade e natureza abrasiva, a casca de arroz é normalmente usada devido a seu alto poder calorífico (aproximadamente 16720 kJ/kg), como fonte alternativa de calor na geração de gases quentes para a secagem do próprio cereal nas usinas de beneficiamento do grão. Este valor corresponde a 50% da capacidade térmica de um carvão betuminoso de boa qualidade e cerca de 33% da capacidade térmica do petróleo (GUTIERREZ e DEL VASTO, 1995).

Porém, o resultado desta utilização no Brasil consome somente cerca de 30% do montante de casca produzido. Após a queima da matéria orgânica contida na casca de arroz sobra a cinza de difícil degradação e com pouquíssimos nutrientes para o solo, contendo aproximadamente de 95 a 98% de sílica no estado amorfo (DELLA, KUHN e HOTZA, 2001). Segundo Krishnarao (2001), o processo de queima leva sempre à obtenção de sílica, cuja coloração varia de cinzenta a preta dependendo do teor de impurezas inorgânicas e carbono presentes.

Apesar das grandes possibilidades de utilização deste resíduo, sua maior aplicação ainda é como aterro, a qual é uma solução insatisfatória tanto sob o ponto de vista ambiental como econômico.

3.2.2. Cama sobreposta de suínos

O grande desafio dos produtores de suínos é a exigência da sustentabilidade ambiental das regiões de produção intensiva. Isso devido à pressão pela concentração em pequenas áreas de produção, e pelo aumento da produtividade de maneira que esse aumento não afete o meio ambiente (OLIVEIRA, 2000).

Os sistemas confinados constituem a base de expansão e da maior produtividade da suinocultura, porém, induzem a adoção de manejo de dejetos na forma líquida, favorecendo o lançamento de efluentes na natureza (sem tratamento prévio), ocasionando intenso processo de degradação ambiental. Embora seja recomendado o armazenamento e tratamento em composteiras e lagoas de decantação, vários trabalhos desenvolvidos demonstram que os resíduos finais dos dejetos não devem ser lançados diretamente nos cursos d'água (OLIVEIRA et al., 2001).

Apesar de altamente tecnificada e com alta produção, a criação intensiva de suínos apresenta alguns aspectos problemáticos relacionados ao bem-estar animal, ao alto custo inicial de instalação e à grande quantidade de dejetos orgânicos produzidos (OLIVEIRA e NUNES, 2002).

Com objetivo de diminuir os impactos ambientais da suinocultura e maximizar a produção, novas tecnologias para o alojamento dos animais são propostas de forma continuada. Entre estas, podemos citar o alojamento em cama sobreposta, , que consiste na utilização de um leito profundo composto por um substrato (maravalha, palha de cereais, casca de arroz, entre outros) com a função de absorver a fração líquida dos dejetos produzidos pelos animais, durante o período de permanência desses na unidade de produção. Este tipo de sistema é uma alternativa para a produção de suínos, devido ao baixo custo de implantação das instalações, à facilidade de manejo, ao conforto e ao bem-estar animal.

Também apresenta vantagens quanto ao manejo dos dejetos em regiões declivosas, do oeste catarinense, naquelas com produção agrícola intensiva (fruticultura e olericultura, principalmente) que demanda adubo orgânico de boa qualidade.

Alguns estudos foram realizados para avaliar o impacto dos sistemas de produção dos suínos no desempenho zootécnico, sanitário, qualidade da carne e do bem-estar animal. PERDOMO et al. (1997) observaram que o desempenho dos suínos alojados em cama sobreposta de palha foi inferior aos alojados no tratamento convencional (CO), sugerindo que o desempenho inferior deve-se ao desconforto gerado pelo acúmulo de lodo na baia, em função da sua baixa capacidade de absorção da água. OLIVEIRA (1999), em estudo comparativo entre dois sistemas de alojamento, convencional (piso ripado) e cama sobreposta (maravalha), afirmou não haver diferença no desempenho zootécnico dos suínos nem no estado sanitário dos animais alojados em ambiente termoneutro. CORRÊA et al. (2000) não encontraram diferença no ganho de peso, no consumo de ração e água, no estado sanitário e nas características de carcaça entre animais alojados em CO x CS (maravalha, serragem, sabugo de milho e casca de arroz). Já BRIDI et al. (2003a) verificaram que os suínos alojados no sistema ao ar livre apresentaram desempenho e características de carcaça inferiores quando comparados aos alojados no CO e CS. Entretanto, BRIDI et al. (2003b) não encontraram diferença entre os sistemas de produção (convencional, cama e ao ar livre) na qualidade de carcaça.

O uso de camas sobrepostas no piso como alternativa ao tradicional piso de concreto tem se tornando comum na criação de suínos nas fases de crescimento e terminação, pois evita a utilização de lagoas para tratamento de dejetos, além de proporcionar melhor qualidade ambiental para os animais (Corrêa et al., 2000). O material de cama, geralmente orgânico, altera as características de dureza do piso e evita a umidade, o frio e a aderência dos dejetos facilitando sua remoção ao final de cada ciclo de criação (Lancini, 1986). Os materiais mais utilizados como cama são a maravalha e a casca de arroz.

Lay et al. (2001) observaram que suínos terminados em sistema de cama apresentaram menos comportamentos anormais, brincaram mais e tiveram menos lesões nas pernas que os terminados em sistema de confinamento sem cama. Machado Filho et al. (2001) observaram que a presença de palha na baia de suínos

de dez semanas de idade provocou redução no comportamento de fuçar e morder os companheiros de baia.

A água também é um nutriente essencial para os suínos. De acordo com Tumelero (1998), o consumo de água por suínos em crescimento e terminação é de aproximadamente 5,5 L/animal/dia e a produção de urina, de 2,0 a 2,5% do peso vivo. Silva (1973) sugeriu que a quantidade de água gasta na higienização das baias varia de 5 a 10 L/animal/dia.

Estes sistemas de produção exigem a utilização de esterqueiras ou de lagoas para o armazenamento dos dejetos, que requerem investimentos nem sempre compatíveis com a realidade econômica dos produtores.

Uma vez que o volume total dos dejetos produzidos (dejetos líquidos produzido pelos animais + perda de água nos bebedouros + água utilizada na limpeza + resíduo da alimentação) requer grandes estruturas para o armazenamento (os órgãos de fiscalização ambiental preconizam um tempo mínimo de 120 dias de retenção), para a sobrevivência das zonas de produção intensiva de suínos, devido à poluição causada no ambiente, de forma geral e específica, torna-se necessário formas alternativas de aproveitamento dos resíduos gerados.

Alternativas que amenizem ou solucionem tais problemas vêm sendo discutidas e estudadas. Dalla Costa (2008); Cordeiro et al. (2008); Tinoco et al., (2007); OLIVEIRA (2000) e JONG et al. (1998) indicam a criação de suínos em cama sobreposta, pois, dessa forma, é dado um destino correto para os dejetos orgânicos que são retidos, armazenados, fermentados dentro da própria granja e manejados na forma sólida (CORRÊA, 1998).

A produção de suínos em sistema Deep Bedding (Cama sobreposta) constitui-se alternativa onde os dejetos sofrem compostagem "in situ" (OLIVEIRA, 1999; ROBIN, 1999; OLIVEIRA, 1998 e NICKS, 1995) visando à redução dos riscos de poluição (ar, água e solo) e melhor valorização agrônômica. Este sistema de produção, em leito formado por palha ou maravalha, teve sua origem na China em Hong Kong (LO, 1992).

O fato da cama sobreposta de suínos ter que ser renovada periodicamente, e por envolver grandes volumes, com o passar dos anos, essas transformam-se em um inconveniente ambiental (SALIN et al., 2005).

Na busca por maneiras alternativas para o aproveitamento desta cama, encontra-se a possibilidade de queima da mesma.

3.2.3. Fibra de sisal

O Brasil é hoje o maior produtor e exportador de fibras e manufaturados de sisal, com 58% da produção e 70% da exportação. O cultivo ocorre em 112 municípios do Nordeste, sendo a Bahia o maior produtor nacional.

De 1995 a 2005, a produção anual de fibra oscilou entre 110 e 140 mil toneladas. Atualmente, cerca de 87% da produção interna destina-se à exportação, gerando divisas anuais da ordem de 80 milhões de dólares (ZARDO et al., 2004).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2007 apud VASQUES, DI CAMPOS E SAVASTANO JR., 2008), a produção brasileira de fibra seca de sisal foi, no ano de 2005, de 139,7 mil toneladas, representando o percentual de apenas 4% da folha. Por sua vez, os resíduos sólidos do desfibramento obtidos para este quantitativo de fibra, que correspondem a 14% da folha, foram da ordem de 489,0 mil toneladas, quantidade bastante significativa e que merece ser estudada para um aproveitamento melhor.

Esses resíduos se constituem de suco ou seiva vegetal, partículas de tecido parenquimatoso esmagado e de pedaços de folhas e fibras de diferentes tamanhos. No Brasil, esses resíduos são também chamados bagaço e, na maioria das vezes, abandonados no campo, sendo poucos os produtores que os utilizam como adubo ou alimento para ruminantes.

As fibras de sisal são selecionadas e classificadas em grau crescente de qualidade em quatro tipos: bucha, T3, T2 e T1. Depois da seleção, as fibras passam por um processo de batimento e prensagem.

3.3. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

3.3.1. Resíduos agropecuários para construções

Nos países em desenvolvimento, de um modo geral, não ocorre a divulgação adequada dos conhecimentos científicos, principalmente para aqueles que atuam no meio rural. Na maioria das vezes, materiais não convencionais para construções,

são associados erroneamente, a obras temporárias ou a materiais de baixa durabilidade (BERALDO, 1997).

O reaproveitamento de resíduos aparece, nos dias atuais, como questão fundamental no desenvolvimento sustentável, tanto em razão da redução de desperdícios de recursos naturais, quanto na minimização dos impactos ambientais oriundos da disposição final dos resíduos (MATOS et al., 1997). Até pouco tempo atrás, essa prática estava restrita apenas a uma alternativa para redução de custos, visão que aparentemente tem-se alterado, sobretudo em razão de pesquisas desenvolvidas, na busca de se melhorar o desempenho de produtos pela incorporação de resíduos e insumos reciclados (JOHN, CINCOTTO e SILVA, 2003).

A utilização pela construção civil de resíduos gerados em outros setores da economia é vantajosa não apenas em virtude do aumento da atividade industrial e, conseqüentemente, de subprodutos mas, sobretudo, devido à redução da disponibilidade de matérias-primas não renováveis, tão necessárias às atividades da construção civil convencional. Grande parte dos resíduos gerados pode ser reciclada, reutilizada, transformada e incorporada, de modo a produzir novos materiais de construção e atender à crescente demanda por tecnologia alternativa de construção mais eficiente, econômica e sustentável (SAVASTANO JR., 2000).

A reciclagem de resíduos industriais e agroindustriais pela construção civil é uma tendência que vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade (SALIN, 2006).

Dentre os resíduos se destacam as cinzas minerais oriundas de diferentes atividades agroindustriais, que apresentam altas porcentagens de sílica e de outros óxidos, podendo ser então utilizadas como pozolanas.

A propriedade da pozolana é a sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos estáveis de poder aglomerante, tais como os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (OLIVEIRA et al., 2004). A avaliação da atividade pozolânica de um material tem motivado o desenvolvimento de numerosos métodos, e esta diversidade se deve ao fato de que a reação pozolana-cal (ou cimento) ainda não é muito bem compreendida. A pozolanicidade é um termo ainda muito complexo, devido à existência de diferentes mecanismos da interação pozolana-CH (hidróxido de cálcio) e à variação considerável na natureza dos materiais que apresentam essa propriedade (VILLAR-COCIÑA et al., 2003).

O desenvolvimento da reação pozolana-CH provoca a formação de produtos insolúveis, pois diminui a concentração de hidróxido de cálcio na solução. Como consequência, ocorre uma variação da condutividade elétrica, cuja rapidez de mudança depende da maior ou menor reatividade da pozolana (RODRIGUES, 2008).

Luxan et al. (1997, apud VILLAR-COCIÑA, GONZÁLES-RODRIGUEZ e HERNÁNDEZ-RUIZ, 2007), avaliaram a atividade pozolânica da CCA, encontrando uma boa correlação entre o conteúdo de sílica não cristalina em amostras de CCA e a variação da condutividade elétrica, em suspensões de CCA e soluções saturadas de cal.

Esses métodos avaliam a atividade pozolânica sob um aspecto qualitativo do comportamento desses materiais pozolânicos (RODRIGUES, 2008). O desenvolvimento da reação pozolana-CH provoca a formação de produtos insolúveis, pois diminui a concentração de hidróxido de cálcio na solução. Como consequência, ocorre uma variação da condutividade elétrica, cuja rapidez de mudança depende da maior ou menor reatividade da pozolana.

As pesquisas realizadas sobre o assunto estão concentradas na cinza da casca de arroz, que apresenta teores de SiO_2 usualmente superiores a 90% (JOHN, CINCOTTO e SILVA, 2003).

Com a incorporação de cinzas e materiais pozolânicos residuais aos compostos cimentícios, obtém-se melhoria das suas propriedades físicas e mecânicas, e de sua durabilidade. Segundo HEINRICKS et al. (2000), as indústrias de cimento e concreto têm procurado cada vez mais utilizar resíduos como materiais inertes ou com atividade pozolânica em suas linhas de produção. O uso dessas pozolanas gera, além de economia de energia, diminuição da poluição produzida durante a fabricação do cimento Portland, pela menor emissão de dióxido de carbono.

3.3.1.1. Cinza de cama sobreposta de suínos

O Grupo de Construções Rurais e Ambiência da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo vem estudando desde 2004,

o aproveitamento das cinzas de cama sobreposta de suínos para compostos cimentícios.

Estudos anteriores (DI CAMPOS, BARBOSA e SAVASTANO JR., 2008; PEREZ et al., 2005) afirmaram que a cama sobreposta de suínos quando calcinada adequadamente, possui características pozolânicas, podendo substituir até 30% do cimento Portland.

Di Campos (2005), testou cinzas de cama sobreposta de suínos como adição mineral em substituição ao cimento. As cinzas foram obtidas nas temperaturas de 400, 500 e 600 °C. A condição escolhida para calcinações em escala laboratorial foi associada à temperatura máxima de 600 °C, uma vez que as cinzas resultantes continham material vítreo e apresentavam valores satisfatórios para o índices de pozolanicidade em análise.

Di Campos, Barbosa e Savastano Jr. (2008), realizaram testes de caracterização de cinzas através da determinação do índice de atividade pozolânica com a cal. As cinzas também foram testadas como substitutos parciais de cimento Portland. As argamassas foram preparadas na proporção cimento:areia de 1:1,5 e com fator água-cimento de 0,4. Três porcentagens de substituição do cimento comercial foram usadas: 10, 20 e 30% em massa. O desempenho das argamassas foi avaliado aos 7 e aos 28 dias com a determinação da resistência à compressão axial. A atividade pozolânica com o cimento indicou resultados promissores para as cinzas produzidas a 600 °C e com substituição de até 30% em massa de cimento.

Quanto a análise química, Di Campos (2005), encontrou percentuais de 42,34; 42,00 e 42,40% de SiO₂ e de 21,64%, 21,00% e 21,70% de Al₂O₃, das cinzas de cama sobreposta de suínos calcinadas a 400, 500 e 600 °C, respectivamente. Dentre os óxidos detectados houve um percentual de 21,62, 23,30 e 24,51% da soma de K₂O, CaO e P₂O₅, respectivamente nas temperaturas de 400, 500 e 600 °C. Esses três óxidos são considerados fundentes e formadores de fase vítrea, e tendem a baixar o ponto de fusão.

Segundo Lumbau (2007), o emprego dos resíduos da suinocultura para produção de placas de escamoteador e outros componentes pré-fabricados, pode representar significativa contribuição para a redução de riscos ambientais e para o rápido crescimento da infra-estrutura urbana e rural em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

A eficiência energética e o isolamento proporcionado pelo material construtivo têm uma função importante para o alcance do conforto térmico sob temperaturas extremas com o mínimo de fontes externas de energia. Portanto, há grande interesse na avaliação das propriedades térmicas dos materiais construtivos para instalações animais, já que influenciam diretamente as condições de conforto térmico. O uso de materiais com propriedades térmicas apropriadas permite o controle dos fatores ambientais dentro das construções e a busca por condições apropriadas para o máximo desempenho (TONOLI et al., 2006).

3.3.1.2. Fibra de sisal

Na última década tem havido um rápido desenvolvimento na área de compósitos reforçados por fibras vegetais. As fibras celulósicas possuem muitas características que tornam seu uso vantajoso como: baixo custo, baixa densidade, resistência específica e módulo elevados, não são abrasivas e, portanto, não desgastam os equipamentos de processo, não são tóxicas, podem ser facilmente modificadas por agentes químicos, são abundantes e provém de fontes renováveis. Suas propriedades mecânicas são comparáveis a de outros reforços comumente empregados. As fibras vegetais são bem mais baratas do que as fibras sintéticas e podem substituí-las em muitas aplicações onde o custo é fator mais importante do que a resistência (SAVASTANO JR.; WARDEN e COUTTS, 2001).

Fibras vegetais como juta, sisal, coco e abacaxi tem sido utilizadas como reforço em matrizes cimentícias (CARVALHO et al., 2007). Dentre estas fibras, o uso do sisal é particularmente interessante já que seus compósitos possuem elevada resistência ao impacto além de moderada resistência à tração e em flexão quando comparados a compósitos reforçados por outras fibras vegetais (SAVASTANO JR., 2000). O sisal é uma das fibras vegetais mais extensamente utilizadas e é responsável por metade da produção total de fibras têxteis no Brasil (KLEINER et al., 2007).

As principais finalidades de se reforçar a matriz frágil com fibras são o aumento das resistências à tração e ao impacto, a maior capacidade de absorção de energia e a possibilidade de uso no estágio pós-fissurado. O tipo, a distribuição, a relação comprimento-diâmetro e a durabilidade da fibra, assim como o seu grau de

aderência com a matriz, determinam o comportamento mecânico do compósito e o desempenho do componente fabricado.

Trabalhos encontrados na literatura (JOSEPH et al., 1999a; CHOW et al., 2007), corroboram ao afirmar que há um comprimento ótimo de fibras de sisal que situa-se entre 35 e 45 mm, onde o máximo na resistência dos compósitos pode ser obtido.

Segundo Joseph (1999b), o motivo pelo qual a resistência não segue crescendo com o comprimento das fibras é atribuído a um emaranhamento e enrolamento mais severo do reforço a comprimentos maiores, reduzindo o seu comprimento efetivo. Para Yan Li et al., (2000), se o comprimento da fibra empregada como reforço for inferior ao comprimento crítico (25 mm), a fibra será sacada da matriz (pull-out) durante o esforço mecânico e o compósito não alcançará a resistência máxima (transferência de tensões) e o compósito falha sob tensões relativamente baixas (JOSEPH et al., 2009a).

Joseph et al. (1999), evidenciou que a resistência dos compósitos aumenta com o comprimento de fibras de 5 a 45 mm, tendendo a manter-se em mesmo patamar e, finalmente, decrescer para comprimentos maiores.

O emprego dos compósitos em placas, telhas de cobertura e componentes pré-fabricados, pode representar significativa contribuição para o rápido crescimento da infra-estrutura dos países em desenvolvimento. O uso de fibrocimentos que utilizam polpa celulósica como reforço, tem sido consagrado, graças a constantes aperfeiçoamentos de matérias-primas, processos produtivos com consumo racionalizado de energia e custos de investimento cada vez menores (SAVASTANO JR. e Warden, 2003).

Savastano Jr. et al. (1999), desenvolveram telhas de cobertura fabricadas com base no processo da Parry Associates (Reino Unido) para moldagem e adensamento por vibração, com uso intensivo de mão-de-obra.

Um dos principais limitadores do uso da fibra em matrizes à base de cimento tem sido a deterioração precoce da fibra vegetal pelos produtos de hidratação do cimento; no entanto, estudos recentes têm demonstrado que este problema pode ser resolvido com a utilização de adições pozolânicas na matriz melhorando, inclusive, a resistência mecânica do produto final (LIMA et al., 2009; TOLEDO FILHO et al., 2003).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. PREPARO DOS MATERIAIS

4.1.1. Cama sobreposta de suínos

4.1.1.1. Coleta cama sobreposta de suínos

A cama sobreposta de suínos (CSS), à base de casca de arroz, foi coletada na Agropecuária Boa Vista (Granja Marissa), no município de Rio Verde, Estado de Goiás.

A CSS foi proveniente da criação de 1000 suínos ($1,2 \text{ m}^2/\text{animal}$) na fase de crescimento e terminação (Figura 2), por três lotes consecutivos, totalizando 360 dias de utilização da cama sobreposta.

Figura 2 – Visão da lateral esquerda e direita do galpão onde os animais foram criados em cama sobreposta. Granja Marissa, Rio Verde – GO

Foram coletadas cinco sub-amostras com mesma quantidade (200 g) em cinco diferentes pontos do galpão conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Destaque para o local de coleta das sub-amostras no galpão onde os animais foram criados em cama sobreposta. Granja Marissa, Rio Verde – GO

Após a coleta, o material foi embalado a vácuo em sacos plásticos e enviado para realização da análise bromatológica. No Laboratório de Construções e Ambiente da Faculdade de Zootecnia e Engenharia da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), essas cinco sub-amostras foram misturadas para homogeneização da amostra final (Figura 4).

Figura 4 – Amostra homogeneizada da cama sobreposta de suínos. Granja Marissa, Rio Verde – GO

4.1.1.2. Produção de cinza de cama sobreposta de suínos

As amostras de cama sobreposta de suínos foram tratadas termicamente em mufla, marca Jung, modelo LF10010 (Figura 5). A Figura 5a mostra a vista frontal da mufla aberta e a disposição das bandejas para a calcinação da cama. A Figura 5b mostra em detalhe as bandejas preenchidas com o material para calcinação. Foram utilizadas quatro temperaturas de calcinação: 600 °C, 700 °C, 800 °C e 900 °C, com resfriamentos gradativos. A taxa de aquecimento foi de 5 °C/min e com 3 h de permanência na temperatura escolhida.

Figura 5 – Mufla. (a) Posição das bandejas de material cerâmico dentro da mufla; (b) Detalhe da disposição das bandejas dentro da mufla, contendo a cama sobreposta de suínos para calcinação

Este estudo optou por trabalhar com o melhor resultado obtido por Di Campos (2005), que testou as temperaturas de 400, 500 e 600 °C e, ainda testar temperaturas mais altas (700, 800 e 900 °C) a fim de eliminar a maior porcentagem possível de materiais orgânicos e impurezas, visto que as temperaturas inferiores a 600 °C, utilizadas por Di Campos (2005), não foram suficientes para tal.

As cinzas foram submetidas à moagem em moinho de bolas cerâmicas (Figura 6) por 3 h. O material selecionado foi o passante na peneira ABNT Nº 200 (# 0,074 mm), segundo metodologia realizada por Di Campos (2005).

(a)

(b)

Figura 6 – Moinho de bolas. (a) Vista lateral do moinho; (b) Vista dos dois jarros cerâmicos sobre os roletes do moinho

4.1.2. Fibra de sisal

As fibras residuais de sisal (fibra curta da rasadeira), usadas como reforço no compósito de fibrocimento, foram fornecidas pelo Sindicato das Indústrias de Fibras Vegetais no Estado da Bahia (Sindifibras), através do Projeto em parceria com o Agência de Apoio ao Empreendedor e Pequeno Empresário (SEBRAE) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). Para caracterização do comprimento e diâmetro das fibras de sisal foi feita uma amostragem de 50 fibras.

4.1.3. Cimento CPV-ARI

O cimento portland de alta resistência inicial (CPV – ARI) foi empregado na formulação dos compósitos cimentícios objetivando evitar a influência de outros aditivos minerais, atingir altas resistências já nos primeiros dias de aplicação e por estar disponível no mercado.

4.1.4. Areia

A areia utilizada como agregado para a confecção da argamassa foi coletada na cidade de Pirassununga, SP.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.2.1. Cinza de cama sobreposta de suínos

4.2.1.1. Composição química e Perda ao fogo

A análise química é uma técnica destinada a proporcionar o conhecimento da composição química de uma substância ou de uma mistura de substâncias. A perda ao fogo fornece informações sobre a quantidade de água de constituição e/ou matéria orgânica existente no material analisado (MOREIRA et al. 2001).

A análise química das cinzas de cama sobreposta de suínos (CCSS) foi feita no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Centro de Tecnologia em Materiais, em Criciúma-SC. Esta análise foi realizada pela técnica de fluorescência de raios-X (FRX), conforme metodologia utilizada por Portella et al. (2005), no equipamento de marca Philips, modelo PW2400.

Nesse tipo de ensaio, buscou-se avaliar a perda ao fogo, os teores de sílica, álcalis (K_2O e Na_2O), e a presença de outros óxidos como CaO , MgO e P_2O_5 .

4.2.1.2. Densidade real

A densidade real é a relação existente entre a massa de uma amostra e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas. Para a determinação é necessário obter-se o valor da massa da amostra e depois o volume dos sólidos presentes (FRAILE, 2005). A massa dos sólidos é obtida por simples pesagens. Quanto ao volume dos sólidos, por tornar-se um pouco mais complexa a sua obtenção, foram

criadas algumas metodologias. Uma das mais utilizadas é a utilização do Picnômetro à hélio.

O picnômetro a hélio tem a capacidade medir o volume e a massa específica real das cinzas. Esse ensaio se baseia no princípio de Archimedes do deslocamento dos fluídos e pela lei de Boyle para determinar o volume. O deslocamento do fluído é um gás do qual pode penetrar nos mais finos poros com isso adquirindo uma máxima precisão. Por esta razão o gás hélio é recomendado uma vez que as pequenas dimensões atômicas asseguram uma penetração entre as cavidades e poros com aproximadamente de um Angstrom em dimensões, conforme apresentado por Moura (2006).

A caracterização da densidade real de CCSS foi realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP), no Departamento de Engenharia Civil. Foi utilizado o picnômetro a hélio da marca Micromeritics, modelo Accupyc 1330.

4.2.1.3. Distribuição Granulométrica

4.2.1.3.1. Peneiras

Após a moagem das amostras de CCSS, verificou-se a distribuição granulométrica utilizando-se as peneiras ABNT no 200 (#0,074mm) e no 325 (#0,045mm), conforme metodologia de ZARDO (2007).

4.2.1.3.2. Laser

A distribuição granulométrica de CCSS (#200) foi realizada na POLI/USP, a partir da determinação do tamanho das partículas por espalhamento a laser de baixo ângulo, utilizando equipamento Malvern MSS Mastersizer, que fez a leitura de tamanho de partículas entre 0,05 a 3500 μm . As análises foram feitas com as partículas em suspensão aquosa e com álcool, no caso do cimento CPV-ARI.

4.2.1.4. Difração de Raios-X

A análise de Difração de Raios-X (DRX) tem caráter qualitativo de acordo com Cullity (1967, apud PEREZ, 2005), pois está baseada na identificação de substâncias (fases cristalinas) presentes em cada amostra. As análises de DRX podem ser utilizadas para identificação de fase, determinação da cela unitária e análise estrutural, tornando-se uma ferramenta muito útil no desenvolvimento de novos materiais. Os picos que aparecem nos difratogramas são característicos para cada tipo de substância, sendo possível identificá-los. No caso da sílica da casca de arroz, a ausência de picos indica a amorficidade da cinza (ODA, 2003).

A difração de raios-X (DRX) foi realizada em equipamento da marca Rigaku, modelo Rotoflex RU 200B (anodo rotatório), na POLI/ USP. As condições de operação foram: radiação K-alfa de cobre, 50 kV e 100 mA, com varredura de 2θ entre 5° e 90° . As fases presentes nas amostras foram posteriormente identificadas com o auxílio do programa computacional, com base de dados centrada no sistema Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS).

4.2.1.5. Calorimetria exploratória diferencial (DSC) e termogravimetria (TG)

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) e termogravimetria (TG) foi realizada em equipamento da marca Netzsch, modelo STA 409 PG, com a taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, para avaliar o processo de calcinação.

4.2.1.6. Pozolanicidade

Em vista do crescimento do uso de materiais pozolânicos como substitutos do cimento, segundo Vasques, Di Campos e Savastano Jr. (2008), existe um grande interesse em métodos mais rápidos e eficientes para avaliação da sua reatividade. A análise de condutividade é um método que pode ser empregado para esse fim, baseado na medição comparada da condutividade de uma solução saturada de hidróxido de cálcio, à qual o material em análise é adicionado, sendo aplicado

somente a produtos de origem natural. Nair , Jagadish e Fraaij (2006), afirmam que a atividade pozolânica das cinzas de casca de arroz dependem basicamente de dois fatores: (i) amorficidade e (ii) área superficial que, por sua vez está relacionada com o tamanho médio das partículas.

A análise de pozolanicidade de CCSS a 600 °C foi realizada no Laboratório de Construções e Ambiente da FZEA /USP. Foi utilizado o condutímetro, marca Digimed, modelo DM-32 (Figura 7) , tendo como célula de carga K 0,12 cm⁻¹, conforme metodologia descrita por Villar-Cociña et al. (2003).

A leitura da condutividade iniciou-se quando a cinza teve o primeiro contato com a solução. Foram anotados os valores de condutividade para os tempos de leitura respectivos, e após 30 minutos, as leituras foram efetuadas com maiores intervalos de tempo.

Figura 7 – Condutímetro da marca Digimed, modelo DM-32 , com célula de carga K 0,12 cm

4.2.2. Fibra de sisal

A caracterização das fibras residuais de sisal foi realizada no Laboratório de Construções e Ambiente da FZEA /USP. A caracterização foi feita por meio de

mensurações do comprimento e do diâmetro utilizando o estereomicroscópio, marca Zeiss, modelo Stemi 2000 (Figura 8) com aumento da lente ocular de 2x.

Figura 8 – Estereomicroscópio da marca Zeiss, modelo Stemi 2000

4.2.3. Cimento CPV-ARI

A caracterização do cimento CPV – ARI foi realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP). O cimento foi caracterizado por meio do ensaio Le Chatelier para obtenção de massa específica (NBR NM 23, 1998).

4.2.4. Areia

Foi feita a análise granulométrica, no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente da FZEA/ USP, de acordo com a norma NBR 7217 (1987), utilizando-se de um agitador mecânico de peneiras, da marca Micolesty. A densidade real da

areia foi determinada por meio do frasco de Chapman (NBR 9776, 1987). Foram também determinados o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado.

4.3. COMPÓSITOS

4.3.1. Produção dos compósitos

As formulações dos compósitos cimentícios utilizadas neste trabalho foram descritas na Tabela 4. Cada formulação foi considerada como um tratamento. A formulação 1 (T1) foi a formulação utilizada como referência. Essas formulações foram definidas baseadas em trabalhos anteriores realizados por de Tonoli et al. (2006) e de Di Campos (2005).

Tabela 4 – Formulação dos compósitos cimentícios nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos (T2), fibras de sisal (T3) e cinzas de cama sobreposta de suínos + fibras de sisal (T4)

MATERIAIS	Quantidade em massa (g)			
	Formulações			
	T1	T2	T3	T4
Cimento CPV-ARI	187,50	150,00	187,50	150,00
Areia	562,50	562,50	549,75	549,75
Cinza de cama sobreposta		37,50		37,50
Fibra de sisal picada			12,75	12,75

Para cada formulação foram moldadas quatro placas com dimensões nominais de 160 mm x 40 mm x 30 mm (Figura 9), em escala laboratorial pelo processo de sucção e prensagem, como ilustrado na

Figura 10.

Figura 9 – Placa moldada com cinza de cama sobreposta de suínos

Fonte: TONOLI et al. (2006).

Figura 10 – Processo de sucção e prensagem: (1) mistura; (2) sucção do excesso de água; (3) adensamento manual; (4) sucção final; (5) prensagem

A mistura e homogeneização das matérias-primas foi efetuada com o uso do misturador planetário (Figura 11).

Figura 11 – Misturador planetário

Após essa homogeneização, retirou-se o excesso de água em uma câmara de vácuo.

Durante o processo de moldagem cada placa foi prensada a 3,2 MPa por 5 min por prensa axial (

Figura 12), com capacidade de 300 KN. Após essa operação, as placas foram armazenadas em saco plástico selado para início da cura úmida, em temperatura ambiente por dois dias. A seguir, as placas foram cortadas com disco diamantado refrigerado com água, para obter quatro compósitos (corpos de prova prismáticos), com dimensões nominais de 40 mm x 30 mm x 10 mm, totalizando 24 compósitos por formulação. Posteriormente foram curados imersos em água, em temperatura ambiente, por mais 26 dias, totalizando 28 dias de cura.

Figura 12 – Prensa axial, Laboratório de Construções e Ambiente (FZEA /USP)

4.3.2. Caracterização dos compósitos

4.3.2.1. Caracterização mecânica

Os testes mecânicos nos compósitos foram executados em uma máquina de ensaios universal, marca Instron, modelo 3367 (

Figura 13), no Departamento de Química da Université des Antilles et de la Guyane, durante o período de co-tutela (outubro a dezembro de 2008).

Foi usada a configuração de flexão a quatro pontos, com distância entre apoios inferiores igual a 135 mm e superior igual a 45 mm. As propriedades mecânicas determinadas foram: Módulo de Ruptura (Modulus of Rupture, MOR), Limite de proporcionalidade (Limit of Proportionality - LOP), Módulo Elástico (MOE) e Energia Específica (EE).

Figura 13 – Máquina de ensaios universal Instron, modelo 3367, no Departamento de Química da Université des Antilles et de la Guyane

Para calcular o módulo de ruptura foi utilizada a seguinte equação (RILEM 49TFR, 1984):

$$\text{MOR} = \frac{P_{\text{max}} \cdot L_v}{b \cdot h^2} \quad (1)$$

Onde:

P_{max} = carga máxima atingida

L_v = distância entre os apoios inferiores

b = largura do corpo-de-prova

h = espessura do corpo-de-prova

A energia específica foi calculada integrando a curva carga-deflexão até o ponto onde a carga atinge o valor de 50% da carga máxima atingida e dividindo o resultado pela área projetada da superfície de fratura do corpo-de-prova, conforme a seguinte expressão:

$$EE = \frac{1}{b \cdot h} \int_0^{0,5P_{\max}} P(x) \cdot dx \quad (2)$$

Onde:

x = Deflexão registrada pelo extensômetro.

O módulo de elasticidade foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$MOE = \frac{276 \cdot L_v^3}{1296 \cdot b \cdot h^3} \cdot \delta \quad (3)$$

Onde:

δ = Coeficiente angular da região elástica da curva força versus flecha.

4.3.2.2. Densidade real

A caracterização da densidade real dos compósitos foi realizada na Université des Antilles et de la Guyane, no Departamento de Química. Foi utilizado o picnômetro a hélio da marca Micromeritics, modelo Accupyc 1330 (Figura 1).

Figura 1 – Picnômetro a hélio, marca Micromeritics, modelo Accupyc 1330

O picnômetro de gás determina o volume verdadeiro de um sólido, mesmo que poroso, por variação da pressão de gás numa câmara de volume conhecido (WEBB e ORR, 1997). Este é constituído por duas câmaras de volumes conhecidos (por calibração prévia): a câmara onde se coloca a amostra e a câmara de expansão, ligadas por uma válvula (válvula de expansão).

Normalmente utiliza-se hélio, porque este gás, além de inerte, penetra facilmente nos poros (acessíveis) da amostra, devido ao pequeno tamanho dos seus átomos, permitindo, assim, determinar o volume do sólido com mais rigor (SMITH, 1996). Esse ensaio se baseia no princípio de Arquimedes do deslocamento dos fluídos e pela lei de Boyle para determinar o volume (MOURA e Figueiredo, 2006).

Segundo Fraile, Lescano e Rocha (2005), a principal vantagem deste método reside na sua capacidade para medir apenas o volume da substância estudada, ou seja, descontar ao volume total da amostra todos os poros (a menos que estes sejam fechados ou inacessíveis ao gás). Por outro lado, permite, ainda, em princípio, medir volumes de sólidos com qualquer teor de umidade. Como desvantagem,

aponta-se o fato de as dimensões da amostra serem limitadas pelo reduzido tamanho do porta-amstras, cuja capacidade máxima é de 10 cm³.

4.3.2.3. Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura (MEV), é usada para explicar as principais propriedades dos materiais polifásicos, a partir de sua estrutura. Possíveis descontinuidades, tais como poros ou fissuras, interferem no comportamento mecânico e na durabilidade do material (SAVASTANO JR., 1992).

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um aparelho que permite a observação e a análise da superfície de amostras espessas através de imagens tridimensionais. Esse equipamento é basicamente constituído por uma coluna (canhão de elétrons, lentes condensadoras e lente objetiva), câmara de vácuo, detectores de sinais (elétrons secundários, elétrons retroespalhados e raios-X), sistema de vácuo com porta-amstras e sistema de visualização da imagem. Depois de gerado no canhão, o feixe de elétrons é diminuído pelas lentes eletromagnéticas e focalizado em uma região da amostra, onde acontecem as interações dos elétrons do feixe com a amostra. A partir daí os sinais são formados e captados pelos detectores, de acordo com sua natureza (RODRIGUES, 2008).

A MEV foi realizada para se observar a morfologia dos compósitos, conforme metodologia de PORTELLA (2009). Além de avaliar a distribuição granulométrica das partículas, a MEV permitiu visualizar a possível formação de aglomerados que podem levar a resultados errôneos a respeito do tamanho das partículas do material em estudo. As amostras foram previamente recobertas com uma fina camada de ouro, que atuou como meio condutor de elétrons.

A microscopia eletrônica de varredura dos compósitos foi realizada no Departamento de Química da Université des Antilles et de la Guyane.

4.3.2.4. Condutividade térmica

A condutividade térmica foi medida com o aparelho CT-Mètre , da marca Controlab. Esse aparelho (Figura 2) mede com precisão os parâmetros térmicos de diversos materiais. O funcionamento começa através da combinação de um

aquecedor e um sensor, que varia a temperatura de 20 °C a 89 °C, conforme metodologia do ensaio. A resistência utilizada foi de 8,16 ohms. Antes do início das medidas, foram ajustadas as potências de aquecimento (W) da sonda, de acordo com materiais. Essa sonda (Figura 3) mede condutividades de $0,02 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ até $5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Quando a sonda aquecia, significava que houve uma variação de temperatura do material $\text{DTM} > 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo necessário diminuir a potência de aquecimento. Se $\text{DTM} < 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, foi necessário aumentar a potência de aquecimento. A precisão da medição é de $\pm 5\%$.

Figura 2 – Aparelho para medir condutividade térmica, CT-Mètre, marca Controlab

Figura 3 – Detalhe da sonda do aparelho para medir condutividade térmica, CT-Mètre, marca Controlab

4.4. PLACAS PLANAS (ENSAIOS LABORATORIAIS)

4.4.1. Produção das placas

As formulações utilizadas para a produção das placas planas para escamoteadores estão descritas na Tabela 5.

O Tratamento 1 (T1) se refere à argamassa de controle (placa de referência) de argamassa de cimento-areia.

O Tratamento 2 (T2) consiste na utilização do conceito de gradação funcional dos materiais “Functionaly Graded Material” (FGM), conforme metodologia de DIAS, SAVASTANO JR. e JOHN (2010). O T2 consiste em uma placa com 1/3 (superior) da espessura total (1 cm), de argamassa de cimento-areia-cinzas, com substituição de 30% do cimento pela cinza de cama de suínos, conforme indicado por DI CAMPOS (2005); e, 2/3 da espessura total (2 cm) com 1,5% em massa de fibra residual de sisal.

O Tratamento (T3) apresenta 1/3 (superior) da placa, com argamassa de cimento-areia-cinza e os 2/3 inferiores feitos com 1,5% em massa de fibra residual de sisal (similar ao T2), sem a aplicação do conceito de FGM.

Nos tratamentos T2 e no T3, as placas foram moldadas em camadas. A finalidade principal da CCSS foi aumentar a condutividade térmica do material. A finalidade da fibra de sisal foi incorporar bolhas de ar e, assim, reduzir a condução do calor para a parte inferior da placa.

Tabela 5 - Formulações utilizadas para as placas planas para os tratamentos

MATERIAIS	Referência (T1)	T2		T3	
		1/3	2/3	1/3	2/3
% em massa					
Cimento CII-F	25	17,2	24,6	17,2	17,2
Areia	75	75,4	73,7	75,4	73,8
Cinzas de cama sobreposta de suínos		7,4	0,0	7,4	0,0
Fibras residuais de sisal		0,0	1,7	0,0	1,7
Relação água/cimento	0,5	0,65	0,73	0,65	1,30

4.4.1.1. Moldagem da placa T1

Primeiramente misturou-se o cimento e a areia a seco por 10 min. A água foi adicionada e misturou-se novamente por 10 min. Para caracterização da massa recém-misturada, utilizou-se o índice de consistência (NBR 7215, 1996). Para a placa referência, utilizou-se a relação água/cimento de 0,5, com índice de consistência de 225 mm.

Foi utilizada uma mesa vibratória para produção da placa referência. Tal metodologia consiste na adaptação de uma moldura de madeira sobre a mesa vibratória de superfície plana acionada por motor de 3 kW e com frequência de vibração igual a 2200 rpm. Durante a moldagem, a massa é colocada sobre filme plástico dentro da moldura, e adensada por vibração durante 4 min, adquirindo forma retangular (60 x 80 cm) e com a espessura desejada (3 cm). Após a moldagem, a placa permaneceu coberta com saco plástico por dois dias. Após o primeiro dia, foi borrifada água na superfície da placa com a finalidade de garantir condições ótimas de hidratação. Após os dois primeiros dias, a placa foi retirada da moldura e imersa em água por 26 dias para completar o processo de cura.

A placa de referência moldada encontra-se ilustrada na Figura 4.

Figura 4 – Placa de referência (T1)

4.4.1.2. Moldagem da placa T2

Inicialmente foi feito os 2/3 inferiores de argamassa como em T1, com o acréscimo da fibra residual de sisal e esta foi sendo adicionada aos poucos para poder ser incorporada a massa homogeneamente e como em T1. Foi realizado o índice de consistência e este foi de aproximadamente 210 mm.

A massa a seguir, foi colocada no molde e em mesa vibratória como no Tratamento 1 por 4 min. Paralelamente a massa do 1/3 superior estava sendo misturada com o acréscimo da CCSS, e então logo depois foi colocada sobre os 2/3 no molde e adensada por vibração novamente por 4 min, adquirindo as dimensões desejadas.

Após a moldagem a placa permaneceu também coberta com um saco plástico por 2 dias, sendo borrifada água para sua hidratação, e depois a placa foi imersa em água por 26 dias para a cura.

4.4.1.3. Moldagem da placa T3

A moldagem seguiu o padrão dos dois primeiros tratamentos, sendo a areia, o cimento e as cinzas misturados primeiramente, logo depois acrescentando água aos

poucos e logo após as fibras aos poucos para garantir sua homogeneização na placa, e então o procedimento foi igual aos tratamentos anteriores.

4.4.2. Caracterização das placas

Foram realizados os ensaios de caracterização das placas, com as formulações T1 e T2, o T3, para escolha da melhor formulação para aplicação da placa plana para escamoteadores de leitões.

4.4.2.1. Caracterização mecânica

Os testes mecânicos nas placas planas foram executados em uma máquina de ensaios universal Emic, modelo DL-30000 (

Figura 5), equipado com célula de carga de 1 kN, no Laboratório de Construções e Ambiente da FZEA/USP. Foi usada a configuração de flexão a quatro pontos (figura X), com distância entre apoios inferiores igual a 135 mm e superior igual a 45 mm. As propriedades mecânicas determinadas foram: Módulo de Ruptura (MOR), Limite de Proporcionalidade (LOP), Módulo Elástico (MOE) e Energia Específica (EE), conforme metodologia adotada por Tonoli et al., (2006).

Figura 5 – Foto da maquina universal de ensaios mecânicos, marca Emic, modelo DL-30000

Figura 19 – Ensaio de flexão a quatro pontos

Para calcular o módulo de ruptura foi utilizada a seguinte equação:

$$MOR = \frac{3}{2} * \frac{P_{\max} * L_v}{b * h^2} \quad (4)$$

Onde:

$P_{\max}$ = carga máxima atingida, em MPa;

L_v = distância entre os apoios inferiores;

b = largura do corpo-de-prova, em milímetros;

h = espessura média do corpo-de-prova (média aritmética das medidas em milímetros).

Para o calculo limite de proporcionalidade (LOP), usa-se a mesma fórmula, utilizando a carga P correspondente à perda de linearidade da curva tensão-deformação pela fissuração da matriz

A energia específica foi calculada integrando a curva carga-deflexão até o ponto em que a carga atinge o valor de 50% da carga máxima atingida e dividindo o resultado pela área da seção transversal de fratura do corpo-de-prova, conforme a seguinte expressão:

$$EE = \frac{1}{b \cdot h} \int_0^{0,5 P_{\max}} P(x) \cdot dx \quad (5)$$

Onde:

x = deflexão registrada pelo extensômetro com deformação máxima de 12mm.

O módulo de elasticidade foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$MOE = \frac{0,17 \cdot L_v^3}{b \cdot h^3} \cdot \delta \quad (6)$$

Onde:

δ = coeficiente angular da região elástica da curva força versus flecha.

4.4.2.2. Caracterização física

A caracterização física das placas planas foi realizada no Laboratório de Construções e Ambiente da FZEA/USP.

Em todas as formulações das placas planas, foram obtidos quatro corpos de prova e nestes analisados: Absorção de água (AA), densidade aparente (DA) e porosidade aparente (PA). A AA e DA foram obtidas, deixando os corpos de prova imersos em água por 24 h, pesando-os imersos (M_U) e saturados (M_S). Em seguida estes foram levados à estufa a 105 °C por 24 h, para posterior pesagem a seco (M_S). Tais procedimentos foram especificados pela recomendação Rilem (Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages) Technical Committee (RILEM 49TFR, 1984), descritos por Tonoli et al (2006).

Os cálculos de AA, DA e PA foram obtidos pelas seguintes equações:

$$AA = \frac{(M_U - M_S) \cdot 100}{M_S} \quad (7)$$

$$DA = \frac{M_S}{M_U - M_I} \cdot D \quad (8)$$

$$PA = \frac{(M_U - M_S) \cdot 100}{M_U - M_I} \quad (9)$$

Onde:

D = densidade do líquido.

Neste trabalho o líquido utilizado foi água, em temperatura ambiente.

4.4.2.3. Avaliação térmica das placas planas

Para a avaliação do comportamento térmico da placa e do conforto térmico do ambiente, a placa foi instalada como piso em escamoteador. Nesta parte do trabalho não foram utilizados animais, com intuito de escolher a melhor formulação, para posteriormente, ser instalada no Setor de Suinocultura e serem feitos os testes com os animais.

O escamoteador tinha as seguintes medidas: 80 cm x 60 cm, com uma porta na frente com medidas de 30 cm x 40 cm (Figura).

Figura 20 – Escamoteador – destaque para a placa utilizada como piso

O experimento teve duração de 10 dias e foi realizado no Laboratório de Construções e Ambiência da FZEA/ USP. Para coleta de dados climáticos foram instalados um data logger na parte superior da placa (centro). No centro do

escamoteador, o data logger e o globo negro foram instalados a uma distância de 0,55 m (1).

Foram determinados a temperatura de bulbo seco (T_{bs}), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), entalpia (H) e temperatura de piso dos escamoteadores.

A análise das temperaturas foi realizada para três dias críticos, considerados como os dias de menor entalpia do período, conforme metodologia de Pandorfi (2006).

Figura 21 – Esquema de localização dos data loggers (destaque em amarelo) e globo negro

As temperaturas de bulbo seco, umidade relativa do ar e temperatura de contato foram obtidas através de data loggers, que coletavam os dados e armazenavam-nos na memória do aparelho. A temperatura de globo negro foi obtida colocando-se um termômetro de mercúrio no interior de um globo negro. O globo negro é uma esfera oca de cobre, com 0,15m de diâmetro e 0,5mm de espessura, pintada externamente com tinta preta fosca.

As medidas foram realizadas de junho a agosto de 2007, com intervalo de 30 min. Cada placa foi avaliada em função da temperatura da superfície da placa.

4.5. PLACAS PLANAS PARA PISO DE ESCAMOTEADORES

A escolha da formulação e modo de produção das placas planas para piso dos escamoteadores, para os Tratamentos T2 e T3, foram baseadas nos resultados da fase anterior deste trabalho.

As placas planas pré-moldadas para os pisos dos escamoteadores foram formuladas e ensaiadas física e mecanicamente no Laboratório de Construções e Ambiência da FZEA/USP.

As formulações das placas estão na

Tabela 6, onde: O Tratamento 1 (T1) se refere à argamassa de cimento-areia (referência). Os Tratamento 2 (T2) e Tratamento 3 (T3) consistem na utilização do conceito de FGM, com a placa em camadas. Nestes tratamentos a placa tinha 1/3 (superior) da espessura total (1 cm) de argamassa de cimento-areia - cinzas com substituição de 30% do cimento pela cinza pozolânica de cama de suínos, conforme indicado por Di Campos (2005), e 2/3 da espessura total (2 cm) com 1,5% em massa de fibra residual de sisal.

Tabela 6 – Formulações das placas planas utilizada nos escamoteadores para leitões nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

MATERIAIS	T1	T2 e T3	
		1/3	2/3
		% em massa	
Cimento CII-F	25	17,2	24,6
Areia	75	75,4	73,7
Cinzas de CSS		7,4	0,0
Fibras residuais de sisal		0,0	1,7
Relação água/cimento	0,5	0,65	0,73

4.5.1. Moldagem da placa do Tratamento 1 (referência)

Primeiramente, misturou-se o cimento e a areia a seco por 10 minutos. A água foi adicionada e misturou-se novamente por 10 min. Para caracterização da massa recém-misturada, utilizou-se o índice de consistência (NBR 7215, 1996). Para a placa referência, utilizou-se a relação água/cimento de 0,50, com índice de consistência de 225 mm (Figura 22).

Figura 22 - Verificação do índice de consistência (225 mm)

Foi utilizada uma mesa vibratória para produção da placa. Tal metodologia consiste na adaptação de uma moldura de madeira sobre a mesa vibratória de superfície plana acionada por motor de 3 kW e com frequência de vibração igual a 2200 rpm.

Durante a moldagem, a massa é colocada sobre filme plástico dentro da moldura (Figura 13), e adensada por vibração durante 4 min, adquirindo forma retangular (80 cm x 60 cm) e com a espessura desejada (3 cm). Após a moldagem,

a placa permaneceu coberta com saco plástico por dois dias. Após o primeiro dia, aspergiu-se água na superfície da placa com a finalidade de garantir condições ótimas de hidratação. Após os dois primeiros dias, a placa foi retirada da moldura e imersa em água por 26 dias para completar o processo de cura. A placa de referência está ilustrada na

Figura 6.

Figura 6 – Moldagem da placa plana para escamoteadores de leitões

4.5.2. Moldagem da placa para os Tratamentos 2 e 3

As placas dos tratamentos T2 e T3 foram moldadas com a mesma formulação, de acordo com a formulação escolhida na fase anterior deste trabalho (ítem 4.4. - Placas planas – ensaios laboratoriais).

As placas foram feitas em duas camadas, utilizando o conceito de FGM. Para a placa do Tratamento 2 (T2), inicialmente foi feita a camada inferior com $\frac{2}{3}$ da espessura final, com a argamassa como em T1, com o acréscimo da fibra residual de sisal. A fibra foi sendo adicionada aos poucos para poder ser incorporada à

massa homogeneamente. O índice de consistência e foi de aproximadamente 210 mm.

A mistura foi colocada no molde e, em mesa vibratória como no Tratamento 1, por 4 min. Paralelamente, a massa da camada superior da placa foi produzida com o acréscimo da CCSS. Logo depois, a fim de se completar o 1/3 restante da espessura total da placa, essa mistura contendo CCSS foi colocada sobre a camada inferior no molde e adensada por vibração novamente por 4 min.

A diferença entre os tratamentos T2 e T3, foi que no T3, durante a moldagem da placa, , foi inserida uma resistência tubular tipo W (Figura 7), tubo 3/8 de aço inox medindo 500 x 160 mm e com 2000 W e 220 V.

(a)

(b)

Figura 7 – (a) Resistência tubular tipo W, (b) inserida na placa

Esta resistência foi interligada a um termostato (

Figura 8) com variação de temperatura de 20 °C a 120 °C, para que a temperatura da placa pudesse variar, conforme a necessidade térmica dos leitões.

Figura 8 – Termostato com variação de temperatura de 20 °C a 120 °C, interligado à resistência elétrica

4.6. ESCAMOTEADORES

Nesta fase do trabalho, foi avaliada a influência da fonte de aquecimento para o conforto térmico e comportamento dos leitões. Esta fase teve duração de 21 dias e foi realizada de 15 de julho a 4 de agosto de 2008.

4.6.1. Animais e local do experimento

O experimento foi realizado no Setor de Suinocultura da Prefeitura do Campus administrativo da FZEA/USP. O município de Pirassununga encontra-se na altitude de 630 m, coordenadas 21°57'02" de latitude Sul e 47°27'50" de longitude Oeste. O clima da região é do tipo Cwa de Köppen, tropical, sazonal, com duas estações bem definidas, verão chuvoso (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro), sendo rara a ocorrência de geada. A temperatura média anual é de 22,0 °C e a pluviosidade média anual próxima a 1363 mm (SAVASTANO JR., 2001).

Foram adquiridos para o experimento três matrizes multíparas Landrace x Large White, com ordem de parto semelhante, originárias da Granja Motta, no município de Rio Verde, GO. As matrizes foram alojadas aleatoriamente, no galpão de maternidade, em baias individuais com grades de contenção. Os leitões tiveram como abrigo o escamoteador e tiveram acesso a toda a baia (

Figura 9).

Figura 9 – Baia de maternidade. Granja do Setor de Suinocultura da PCAPS/FZEA/USP

As matrizes receberam ração e água durante todo experimento. A coleta de dados experimentais teve início no 1º dia após o nascimento dos leitões, com duração total de 21 dias.

4.6.2. Tratamentos

As três placas (T1, T2 e T3) foram instaladas como piso para os escamoteadores dos leitões, conforme Figura 10.

Figura 10 – Placa plana com resistência elétrica instalada (T3), utilizada como piso de escamoteador na baia de maternidade. Granja do Setor de Suinocultura da PCAPS/FZEA/USP

Nos Tratamentos 1 e 2, lâmpadas de 200 W foram utilizadas como forma de aquecimento para os leitões. No tratamento 3, a lâmpada utilizada foi a de 50 W e a forma de aquecimento foi a resistência elétrica dentro da placa. Em todos os tratamentos, a área de piso foi coberta por uma cama de casca de arroz de aproximadamente 3 mm (

Figura 11). Os sistemas de aquecimento permaneceram acionados durante todo o período experimental.

Figura 11 – Cama de casca de arroz espalhada na baia na baia de maternidade.
Granja do Setor de Suinocultura da PCAPS/FZEA/USP

4.6.3. Conforto Térmico

Foram analisadas as seguintes variáveis ambientais: índice de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), entalpia (H) e temperatura de piso dos escamoteadores.

Para a avaliação da eficiência térmica de cada tratamento, as variáveis ambientais foram analisadas para três dias críticos, considerados como os dias de menor entalpia do período, conforme metodologia utilizada por Perissinoto (2005) e Pandorfi (2002).

A entalpia é a energia de ar úmido por unidade de massa de ar seco (kJ/kg de ar seco). A temperatura considerada como referência é a temperatura de 0 °C. A entalpia do ar úmido é a propriedade mais útil na quantificação de processos psicrométricos que envolvem trocas térmicas (ALBRIGHT, 1990).

Por se tratar de aquecimento, adotou-se a menor entalpia como crítica, por considerar a menor quantidade de calor presente em uma parcela de ar seco

(MOURA et al., 2007), levando em consideração que, para leitões, períodos mais frios, são considerados como críticos. A entalpia foi calculada de acordo com a equação proposta por ALBRIGHT (1990):

$$H = 6,7 + 0,273 * T + \{UR / 100 * 10 ^ [(7,5*T) / (237,3+T)]\} * 4,18 \quad (10)$$

Sendo:

H = entalpia (kcal/kg de ar seco);

T = temperatura de bulbo seco (°C);

UR = umidade relativa do ar (%).

Os valores de entalpia recomendados para os animais foram calculados com base nas condições e conforto dos leitões, 32; 30 e 28°C, para a 1ª, 2ª. e 3ª. semanas de vida dos leitões, respectivamente. A umidade relativa do ar indicada fica em torno de 70% (SILVA, 1999).

Foi determinado para o ambiente do escamoteador o Índice de temperatura e umidade (ITU), proposta por Thom (1958) e Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), proposta por Buffington et al. (1981).

Os registros dos dados de temperatura foram realizados em intervalos de 30 min durante todo o período experimental. Os sensores para a obtenção da temperatura eram compostos por uma rede de cabos termopares do tipo T (cobre-constantan), sendo as temperaturas armazenadas por um data logger da marca Hobo/Onset (Figura 12).

Figura 12 – Sensor (data loggers) da marca Hobo/Onset, utilizado para coletar as variáveis de temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro e umidade relativa

A Figura 3013 mostra o interior do escamoteador onde os sensores foram instalados a uma distância de 0,55 m do piso. A temperatura do piso foi coletada no centro da placa.

Figura 3013 – Esquema (sem escala) de localização do data logger (destaque na cor amarelo) e termômetro de globo negro (destaque na cor preta) localizado dentro do escamoteador

Os parâmetros fisiológicos analisados nos animais foram temperaturas de superfície corporal da pele (nuca) e timpânica dos leitões.

Os leitões, por se tratarem de animais muito sensíveis ao contato humano, tornam a análise de parâmetros fisiológicos de forma invasiva uma maneira inviável. Um método não-invasivo de análise fisiológica é a temperatura de superfície corporal, a qual pode ser medida pela utilização de um termômetro de infravermelho. As temperaturas de superfície corporal (nuca) e timpânica dos leitões, foram coletadas com termômetro de infravermelho da marca Raytekâ, modelo RAYST2PHC, com precisão de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e escala de 0 a 60°C (Figura 31).

(a)

(b)

Figura 31 – Termômetro de infravermelho da marca Raytekâ, modelo RAYST2PHC, com precisão de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, e escala de 0 a 60°C

A temperatura timpânica dos leitões foi coletada na orelha esquerda de cada animal. As temperaturas de superfície corporal (nuca) e timpânica dos leitões foram feitas em quatro períodos durante o dia, nos horários das 8, 11, 14 e 17 h. Segundo Ferreira et al. (2003), o horário das 14 h é considerado o de maior desconforto térmico. coletada diariamente, em quatro animais de cada instalação.

4.6.4. Análise comportamental dos leitões

Os dados de comportamento animal foram registrados por meio de microcâmeras (

Figura 14) com lente de 2,45 mm, instaladas no interior de cada escamoteador e nas baias. As lâmpadas permaneceram ligadas durante todo o experimento.

Figura 14 – Escamoteador com destaque para a câmera para coleta de imagens

Para as imagens registradas foram considerados, quatro horários durante o dia (8, 11, 14 e 17 h), nos três tratamentos. Nesses horários, em função dos sistemas de aquecimento e das variáveis ambientais envolvidas no estudo, foi avaliado o conforto térmico dos leitões divididos em três categorias: estado de frio, de conforto e de calor; de acordo com a dispersão dos leitões dentro do escamoteador, segundo metodologia utilizada por Xin (1999).

As imagens foram registradas 24 h/dia, e geradas por um software, com armazenagem das informações num banco de dados para posterior análise. Esse monitoramento foi realizado conforme descrito por Pandorfi e Silva (2005),

analisando individual e simultaneamente os movimentos dos animais por baia, para compreensão da eficiência de cada um dos tratamentos em relação à sensação do conforto animal.

4.6.5. Análise estatística

O delineamento experimental adotado para análise geral foi em blocos casualizados (DBC). As variáveis meteorológicas, ambientais e os parâmetros fisiológicos foram analisados, adotando o DBC para análise geral, e o teste de Tukey ($P < 0,05$) para a comparação entre as médias. Para os dados referentes às variáveis comportamentais, fisiológicas e os índices zootécnicos, foi adotado o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS, 2004).

Os dados foram analisados admitindo-se um modelo envolvendo três tratamentos (T1, T2 e T3) com quatro medidas repetidas ao longo do dia (8, 11, 14, 17 h); os dias foram usados como repetições, pois os tratamentos não eram repetidos. Na análise estatística foi utilizado o pacote proc mixed do SAS (2004), por conta das medidas repetidas, e da possibilidade de ocorrer heterogeneidade de variâncias nas quatro ocasiões (horas) e correlação não nula entre essas ocasiões. Quando a interação foi significativa, procedeu-se ao desdobramento com o intuito de comparar os tratamentos em cada uma das ocasiões, e as médias dos tratamentos foram comparadas em cada hora pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

5.1.1. Cinzas da cama sobreposta de suínos

5.1.1.1. Composição Química e Perda ao fogo

A composição química e a porcentagem de perda ao fogo das amostras de CCSS são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição química das cinzas da cama sobreposta de suínos calcinadas a 600 °C e a 900 °C

Compostos	Temperatura 600 °C	Temperatura 900 °C
	% em massa	% em massa
SiO ₂	47,91	31,13
Al ₂ O ₃	8,87	10,50
Fe ₂ O ₃	11,49	15,82
CaO	6,09	10,21
Na ₂ O	1,97	3,29
K ₂ O	2,79	6,27
MnO	0,23	0,21
TiO ₂	2,58	2,79
MgO	3,03	4,29
P ₂ O ₅	8,13	8,07
Cr ₂ O ₃	0,12	0,13
Perda ao fogo (PF)	6,51	6,35

Obs: O somatório dos óxidos não totaliza 100%. Foram detectados S e Cl.

Pela análise química do material, os teores revelados foram de 47,91% e 31,13% para o SiO_2 e 8,87 e 10,50% para Al_2O_3 , para as cinzas calcinadas, respectivamente, a temperatura de 600 °C e 900 °C. Comparando-se o teor de SiO_2 de CCSS tratada a 600 °C, com o teor encontrado por Di Campos, Barbosa e Savastano Jr. (2008), em torno de 45,12%, nota-se que o valor atual está acima. O alto teor de dióxido de silício é um dos indicadores para o material ser considerado pozolânico (OLIVEIRA et al., 2004)

A cama sobreposta de suíno utilizada neste trabalho é a mesma utilizada no trabalho de Di Campos, Barbosa e Savastano Jr. (2008). As diferenças de teores de SiO_2 e de Al_2O_3 entre esses dois trabalhos mencionados se devem a heterogeneidade do material. Isto mostra que as condições de uso da cama sobreposta (quantidade de dejetos, por exemplo) não são as mesmas em toda área ocupada pelos suínos na Granja Marissa. Destaque-se também que a forma de coleta das camas não foi uniforme e que o material coletado continha partículas de solo.

Para as cinzas de cama sobreposta tratada a 900 °C o teor de SiO_2 foi 31,13%, sendo inferior ao do valor encontrado para a temperatura de 600 °C. Segundo Gava et al. (1999), a composição química das cinzas de casca de arroz, pode variar em razão do solo em que o arroz foi plantado, dos tipos e teores de fertilizantes utilizados, bem como da variedade de arroz propriamente dita. Della, Kuhn e Hotza (2001), trabalhando com cinza de casca de arroz (CCA), encontraram teores de SiO_2 de 97,87% na sua composição química. No presente trabalho foram encontrados para a CCSS teores de SiO_2 em torno de 47% a 31%, para 600 e 900 °C, respectivamente. Essa grande diferença entre os valores de cinzas de casca de arroz pura e da cinza da cama sobreposta, pode ser explicada pela presença de material orgânico e inorgânico entre outras impurezas (excrementos e urina, por exemplo) na matéria prima, que predominam como consequência da produção de suínos em cama sobreposta (DI CAMPOS, 2005; VASQUES, DI CAMPOS e SAVASTANO JR., 2008).

Observando-se os teores de álcalis (Na_2O e K_2O), encontraram-se valores de 1,97% e 2,79%, respectivamente, para as cinzas de cama sobreposta de suínos tratada a 600 °C. Tais valores se apresentaram superiores àqueles encontrados por Di Campos, Barbosa e Savastano Jr. (2008), que foram em torno de 1,51% e 2,52%, na mesma ordem.

Della, Kuhn e Hotza (2001), trabalhando somente com casca de arroz, encontrou 0,12% e 0,88% para os álcalis Na_2O e K_2O , respectivamente. Comparando-se esses teores com os resultados da composição química encontrados neste trabalho, nota-se o elevado grau de impureza das cinzas de cama sobreposta de suínos.

Pela literatura, sabe-se que alguns constituintes mineralógicos do agregado reagem através da reação álcalis-agregado (RAA), com hidróxidos alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto, e como manifestação dessa reação, temos a fissuração do material (ECIVILNET, 2006).

Segundo Nakata, Suzuki e Okutani (1989), o potássio contido na CCA, acelera tanto a fusão das partículas quanto a cristalização da sílica amorfa em cristobalita por abaixar o ponto de fusão do material, se utilizado em formulações que serão submetidas a tratamentos térmicos acima de 700 °C.

A calcinação de CCSS a 600 °C e a 900 °C propiciou perda ao fogo, de 6,51% e 6,35%, respectivamente. Esse valor de perda ao fogo corresponde à eventual presença de carbonatos. Esses dados mostram que diferentemente do trabalho realizado anteriormente por Di Campos (2005), nessas amostras a calcinação em ambas as temperaturas foi suficiente para eliminar o material orgânico, corroborando com os resultados encontrados por Nair, Jagadish e Fraaij (2006).

O segundo aspecto mostrado na quantidade de perda ao fogo se deve à diferença entre as duas temperaturas de tratamento (600 °C e 900 °C). Em temperatura mais elevada, elimina-se um maior teor de material orgânico.

5.1.1.2. Densidade real

A densidade real das amostras de CCSS nos diferentes tratamentos térmicos apresentou os seguintes valores médios: 2,95 g/cm³; 3,00 g/cm³; 2,92 g/cm³ e 2,88 g/cm³ para as temperaturas de 600 °C, 700 °C, 800 °C e 900 °C respectivamente, como mostra a

Figura 15.

Figura 15 – Variação da densidade real das cinzas da cama sobreposta de suínos (CCSS), em função da temperatura de calcinação

A dispersão dos valores médios, apresentada na Figura 17 indica que não há diferença significativa ($p > 0,05$) da densidade entre os tratamentos térmicos de 600 e 700 °C e entre os valores de 800 e 900 °C.

Calculando-se o valor médio da densidade real de CCSS a partir das médias de cada tratamento térmico, constata-se que valor médio encontrado de $2,93 \text{ g/cm}^3$, é superior aos valores encontrados por Della, Kuhn e Hotza (2001) e Rodrigues (2008), que encontraram $2,20 \text{ g/cm}^3$ e $1,3 \text{ g/cm}^3$ para a sílica vítrea e cinzas de casca de arroz, respectivamente. Ao estudarem CCSS, Vasques, Di Campos e Savastano Jr. (2008) encontraram valores médios de densidade real de $2,87 \text{ g/cm}^3$, para a temperatura de 600 °C. Esses resultados indicam que as partículas de CCSS são mais densas, ou seja, menos porosas em relação a sílica vítrea e a casca de arroz. Isso concorda com os resultados encontrados na análise química em que observou-se baixo teor de SiO_2 e alto teor de Al_2O_3 e de FeO_3 .

Segundo Santos (1997), a densidade real de CCSS está relacionada com a quantidade de material orgânico (SANTOS, 1997). Considerando que o material

inicial da cama sobreposta de suínos era a casca de arroz, podemos afirmar que, a incorporação do material orgânico dos dejetos dos suínos, ao longo do período de produção dos animais em confinamento, alterou a densidade da casca de arroz.

5.1.1.3. Distribuição granulométrica

5.1.1.3.1. Peneiras

Através da Figura 34, observamos a distribuição granulométrica das cinzas de cama sobreposta de suínos referentes a fração passante nas peneiras ABNT n°. 200 (#0,074mm) e n°. 325 (#0,045mm).

Figura 34 – Distribuição granulométrica das cinzas de cama sobreposta de suínos referentes a fração passante nas peneiras ABNT n°. 200 (#0,074mm) e n°. 325 (#0,045mm)

A análise da distribuição granulométrica das amostras de CCSS revelou que existe uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre as cinzas referentes a fração passante em peneira ABNT nº 200 (#0,074 mm) e na peneira ABNT nº 325 (#0,045 mm), quando comparadas em cada tratamento analisado. Nas temperaturas de 600, 700, 800 e 900 °C, observou-se que 76,44% e 11,29%, 81,86% e 18,14%, 81,34 e 21,95% e, 81,25% e 24,15% de CCSS, passaram na peneira #200 (0,074 mm) e #325 (0,045mm), respectivamente. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Vasques, Di Campos e Savastano Jr. (2008) que, ao testarem as cinzas de cama sobreposta de suínos a 600 e 700°C, observaram perda excessiva de material, na peneira #325. Salin (2205), não encontrou diferenças significativas para as caracterizações que fez com as cinzas de cama sobreposta, quando testou a moagem nas peneiras ABNT nº 200 (#0,074 mm) e na peneira ABNT nº 325 (#0,045 mm), o que justificou a escolha da peneira #200, por um período de 3 h.

5.1.1.3.2. Laser

Para confirmar esse resultado, a Figura 16, apresenta a distribuição granulométrica das cinzas calcinadas a 600°C (fração passante pela peneira ABNT #200, abaixo de 0,744 mm).

Figura 16 – Distribuição granulométrica das cinzas de cama sobreposta de suínos calcinadas à 600 °C, e fração passante na peneira n°. #200

As cinzas calcinadas a 600, 700 800 e 900°C, apresentaram diâmetros médios de 20,66; 21,98; 23,27 e 22,80 µm, respectivamente.

A distribuição larga de partículas mostra-se entre 1 e 100 µm, demonstrando sua capacidade de empacotamento elevado, visto que as matérias-primas utilizadas nas formulações têm distribuição de tamanho de partículas mais estreita. Alta densidade de empacotamento depende diretamente da distribuição das partículas das cinzas (ZARDO et al., 2007).

5.1.1.4. Difratometria de Raios-X

Os resultados das CCSS calcinadas de 600 a 900°C foram analisados com a finalidade de definir a melhor temperatura de calcinação. As Figuras 36, 37, 38 e 39 mostram os difratogramas das cinzas calcinadas, respectivamente, nas temperaturas de 600, 700, 800 e 900°C.

Figura 17 – Difratoograma das cinzas calcinadas a 600 °C

Figura 18 – Difratoograma das cinzas calcinadas a 700 °C

Figura 19 - Difratoograma das cinzas calcinadas a 800 °C

Figura 39 – Difratoograma das cinzas calcinadas a 900 °C

Os difratogramas das cinzas calcinadas a 600 e 700 °C indicam uma maior banda larga entre os picos nos 2θ de 20 a 40° com relação aos difratogramas das cinzas calcinadas a 800 e 900 °C. Adicionalmente, a difração de raios-X das cinzas calcinadas a 800 e 900°C apresentam maior quantidade de picos que indicam maior quantidade de fases cristalinas. Estes resultados semi-quantitativamente, apontam uma maior amorficidade das cinzas calcinadas entre 600 e 700 °C. Embora a temperatura de 700 °C tenha apresentado resultados pouco superiores àqueles associados a temperatura de 600°C, tais diferenças não foram significativas ($p > 0,05$) para justificar um maior gasto de energia na calcinação da CSS.

5.1.1.5. Calorimetria exploratória diferencial e termogravimetria

A Figura 20 apresenta a calorimetria exploratória diferencial (DSC) e termogravimetria (TG) de CCSS.

Figura 20 – Calorimetria exploratória diferencial (DSC) e termogravimetria (TG) da cama sobreposta de suínos

O resultado de DSC mostra que em torno de 100 °C, há uma perda de água, indicada pelo pico endotérmico. Em torno de 500 °C o pico endotérmico indica a decomposição e a eliminação de compostos orgânicos. Desse modo, pressupõe-se que, acima dessa temperatura a maioria dos materiais orgânicos é eliminada. O TG apresenta uma perda de massa de aproximadamente 50% da cama sobreposta de suínos até atingir em torno da temperatura de 700 °C. A partir dessa temperatura há diminuição gradual de massa até atingir 38% da massa total. Esses resultados indicam que a partir de 700 °C o material residual é basicamente inorgânico.

5.1.1.6. Pozolanicidade

Neste ensaio de condutividade elétrica, a partir do momento em que se iniciam as medidas da condutividade nas suspensões de pozolanas/CH, ocorre um decréscimo dos valores dessa propriedade ao longo do tempo. A Figura apresenta a variação da condutividade elétrica ao longo do tempo para as suspensões de pozolanas/CH realizadas para as amostras de CCSS. A condutividade de CCSS é decrescente conforme o tempo de medição. De acordo com Rodrigues (2008), esse comportamento pode ser atribuído à formação de produtos insolúveis e ao correspondente decréscimo da concentração de CH (hidróxido de cálcio) na solução, trazendo como consequência, a diminuição da condutividade elétrica.

Figura 40 – Curva de variação da condutividade das cinzas de cama sobreposta de suínos, calcinada a 600 °C

Essa perda de condutividade elétrica nas idades iniciais é um bom sinal, pois indica que a pozolana está reagindo com o Ca(OH)_2 , segundo pesquisadores que trabalharam com esse método (VILLAR-COCIÑA et al., 2003; MORALES et al., 2007).

A solução se estabilizou a partir de 8 h do início do ensaio. Para Morales et al. (2007), dependendo da amostra analisada, alcança-se uma estabilização da curva

(para valores muito próximos de zero) para um período de tempo mais longo; tal fato indicando que a reação já está praticamente concluída.

5.1.2. Fibra de sisal

Os resultados da caracterização do comprimento e do diâmetro das fibras residuais de sisal encontram-se nas Figuras 41 e 42.

Figura 41 – Caracterização do comprimento (mm) das fibras residuais de sisal

Figura 42 – Caracterização do diâmetro (mm) das fibras residuais de sisal

As fibras residuais de sisal apresentaram em média 23 mm de comprimento e 0,5 mm de diâmetro. Estes resultados de comprimento são inferiores ao indicado por Joseph et al. (2009) e Yang Li et al. (2000).

5.1.3. Cimento CPV – ARI

O cimento CPV – ARI apresentou a densidade real de 3,00 g/cm³, e atende os requisitos especificados na norma NBR 5733 (1991) para cimento Portland de alta resistência inicial. A densidade real do cimento CPV – ARI, foi próxima à da CCSS, com 2,93 g/cm³. O módulo de finura e o diâmetro máximo foram de 1,49 mm.

A

Figura mostra a distribuição granulométrica do cimento CPV – ARI. Os resultados indicam que essas matérias-primas são compostas principalmente de partículas na faixa de 20 a 50 µm.

Figura 43 – Distribuição granulométrica do cimento CPV-ARI

5.1.4. Areia

O diâmetro máximo foi igual a 2,42 mm e o módulo de finura foi de 2,20 mm sendo, portanto, classificada como areia média, segundo a NBR 7211 (ABNT, 1983).

5.1.5. Considerações parciais

Quanto a caracterização da CCSS:

- A CCSS calcinada a 600 e 900 °C apresentou em sua composição química 47,9% e 31,13% de óxido de silício, respectivamente. Com o aumento da temperatura foi verificada na análise de difração de raios-X, maior quantidade de picos que indicam maior quantidade de fases cristalinas, e ainda, nas temperaturas de 700 e 800 °C com a presença de picos de cristobalita.

- Na avaliação de pozolanicidade da CCSS, observou-se através do ensaio de condutividade elétrica das cinzas calcinadas a 600 °C, decréscimo da condutividade elétrica ao longo do tempo, estabilizando com 8 h.
- Assim, baseado nos resultados da difração de Raios-X, do DSC e do TG, do ensaio de condutividade elétrica, foi definida a temperatura de calcinação de 600 °C da cama sobreposta de suínos. Essa temperatura é adequada para eliminar os compostos orgânicos, manter a amorficidade das cinzas e economizar energia elétrica com relação às temperaturas mais elevadas.

5.2. COMPÓSITOS

5.2.1. Caracterização dos compósitos

5.2.1.1. Caracterização mecânica

Nas

Figura 21 estão apresentadas as curvas de carga x deformação na flexão das placas planas nos quatro tratamentos.

Figura 21 – Curva de carga x flecha na flexão do Tratamento 1 (Referência)

Figura 22 – Curva de carga x flecha na flexão do Tratamento 2 (Cinza de cama sobreposta de suínos)

Figura 45 – Curva de carga x flecha na flexão do Tratamento 3 (Fibra de sisal)

Figura 236 – Curva de carga x flecha na flexão do Tratamento 4 (Cinza de cama sobreposta de suínos + Fibra de sisal)

Nota-se a grande capacidade da fibra em aumentar a deformação total do material, que passou de aproximadamente 1,2 mm para matriz de referência para cerca de 5 mm para as misturas reforçadas com fibras. O tratamento 2 alcançou cargas mais elevadas por conter CCSS na formulação, o que pode conferir refinamento dos poros e assim aumentar o desempenho mecânico da mistura. Quando comparados os tratamentos T2 e T4, podemos constatar que a presença da fibra, reduziu a resistência mecânica do compósito. Este fato pode ser justificado por Joseph et al (1999) e Yang Li et al. (2000), que estudaram fibras custas de sisal e relataram que, se estas tiverem comprimento menor que 30 mm, a fibra será sacada da matriz (pull-out) durante o esforço mecânico e o compósito não alcançará a resistência máxima (transferência de tensões).

5.2.1.2. Densidade real

Os resultados por amostra da densidade real , estão apreentados no **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e as respectivas médias de cada tratamento utilizado nesta fase do trabalho estão apresentadas na
Figura 24.

Figura 24 – Médias de densidade real dos compósitos dos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos (T2), fibra de sisal (T3) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T4)

Os resultados encontrados para densidade real foram de 2,74; 2,58; 2,34 e 2,41 g/m³ para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Comparando os tratamentos estudados, não observamos diferenças significativas ($p > 0,05$) entre eles, para valores médios de densidade real.

5.2.1.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A

Figura 25 apresenta micrografias eletrônicas quatro formulações utilizadas neste trabalho.

Figura 25 – Microscopia eletrônica de varredura dos compósitos dos tratamentos: (a) referência (T1); (b) cinzas de cama sobreposta de suínos, (c) fibra de sisal, (d) cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (d)

Na Figura 45c e d estão destacadas as fibras curtas de sisal. As fibras se encontram parcialmente recobertas por produtos de hidratação do cimento. Isso demonstra que a afinidade da fibra de sisal com água, pode permitir boa adesividade entre as duas fases. O problema inerente no compósito de fibrocimento com fibras é a interface fibra-matriz que é o elo crucial que sustenta a integridade estrutural destes

materiais (VIEIRA et al., 2009). A formação destes aglomerados sobre a superfície das fibras (Figura 45d) indicou que a presença de CCSS aumentou a maior afinidade das as fibras de sisal à matriz cimentícia, sugerindo que as CCSS podem ser utilizadas como agente de acoplamento entre fibra de sisal e matriz.

5.2.1.4. Análise Térmica

Os resultados por amostra da análise térmica dos compósitos, estão apreentados no ANEXO 2 e as respectivas médias de cada tratamento estão apresentadas na Figura 49.

Figura 49 – Análise térmica dos compósitos dos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos (T2), fibra de sisal (T3) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T4)

Os resultados encontrados para temperatura foram de 20,14; 20,35; 20,65 e 20,54 °C para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Não observou-se

diferença significativa entre os tratamentos estudados. A adição das fibras curtas de sisal no compósito, comparando T1 com T3 e T2 com T4, sugeriu aumento da temperatura, embora esse resultados não foi significativaivo ($p>0,05$).

5.3. PLACAS PLANAS (ENSAIOS LABORATORIAIS)

5.3.1. Caracterização das placas

5.3.1.1. Caracterização mecânica

Na Figura 50 estão apresentadas as curva de tensão x flecha específica das placas planas nos três tratamentos.

Figura 50 – Curva de tensão x flecha específica das placas planas nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

O Tratamento 1 apresentou resistência à tração na flexão bastante superior aos demais tratamentos, porém a curva demonstra o modelo de ruptura frágil. Ou seja, a matriz sem reforço atinge o pico de tensão, equivalente à primeira fissura visível, e então o material entra em colapso.

Os Tratamentos 2 e 3, reforçados com fibra de sisal na camada inferior da placa, apresentaram resistência mais baixa que o tratamento 1, porém o material não sofreu colapso após a primeira fissura visível e continuou a se deformar até 0,007 e 0,003 mm/mm aproximadamente para os tratamentos 2 e 3 respectivamente. Essa pior resistência dos compósitos com fibras pode ser explicada simultaneamente pelos seguintes fatores:

- A fibra utilizada foi obtida da bucha de campo de sisal picado, um resíduo com contaminação de mucilagem, substância que pode ter prejudicado a hidratação do cimento. Comportamento semelhante foi encontrado Savastano Jr. (2001), para compósitos com teores elevados de fibras residuais de sisal e banana. Uma forma de minimizar esse efeito tóxico dos extrativos sobre o cimento Portland é fazer um tratamento químico ou lavagem prévia da fibra (Della, Kuhn e Hotza, 2001, Paes et al., 2009).
- A fibra introduzida na camada inferior da placa teve a função principal de incorporar vazios para propiciar o isolamento térmico pretendido para essa camada inferior da placa. No entanto, essa porosidade associada às fibras introduziu uma quantidade significativa de defeitos no compósito que prejudicou o seu desempenho mecânico, especialmente sua resistência e o módulo de elasticidade. Segundo LIMA; ROSSIGNOLO e CAMPOS (2008) quanto maior a porosidade de um material, menor sua densidade e, conseqüentemente, menor a resistência à compressão do sistema.

O módulo de ruptura MOR (Figura) da placa plana sem fibras apresentou-se bem superior aos demais, provavelmente pela maior homogeneidade da mistura, não contaminação do cimento pela fibra residual e menor quantidade de poros capilares. O mesmo comportamento foi seguido pelo limite de proporcionalidade (Figura), que representou o comportamento mecânico da placa sob flexão até o aparecimento da primeira fissura visível. Essa similaridade entre o comportamento do MOR e do LOP confirmam a indicação de que matriz do compósito com fibras apresentava desempenho deficiente, uma vez que tanto no material com reforço fibroso como no material de referência sem fibras, a máxima tensão foi atingida no ponto de aparecimento da primeira fissura.

Figura 51 – Módulo de ruptura das placas planas nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

Figura 52 – Limite de proporcionalidade das placas planas nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

Em conformidade com os resultados de MOR e LOP, para o módulo elástico (Figura), , o tratamento que apresentou maior rigidez foi o da placa de referência sem fibras. Ou seja, maior grau de hidratação do cimento e menor porosidade aparente, são fatores importantes para justificar esse melhor desempenho da placa de referência.

Figura 53 – Módulo elástico das placas planas nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

Para a energia específica (Figura 26), o melhor comportamento foi atingido pela placa do tratamento 2, que atingiu também maior deformação específica no regime pseudo-plástico do gráfico de tensão x deformação específica (Figura 50). Nesse caso, as fibras atuaram como pontes que atravessam as fissuras da matriz após o limite de proporcionalidade, evitando assim o colapso da matriz frágil de cimento e areia.

Figura 26 – Energia específica das placas planas nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

A Figura 26, nos mostra que o Tratamento 2, onde foi utilizado o conceito de FGM, favoreceu o aumento de energia específica e que o T3, feito de maneira aleatória, é equivalente ao T1 que não tinha fibras. Porém, o desvio padrão entre eles se sobrepõe indicando uma tendência do material a não ser significativa essa diferença, não podendo ser um resultado conclusivo.

5.3.1.2. Caracterização física

A absorção de água (Figura 18), a porosidade aparente (Figura 55) e a densidade aparente (Figura 56), tiveram comportamentos semelhantes e compatíveis com os resultados previamente analisados do comportamento mecânico do material. A maior quantidade de poros aparentes capilares acarretou a maior absorção de água e a menor densidade aparente das placas dos tratamentos T2 e T3. Tal comportamento foi observado por Lumbau (2007), em experimentos prévios, com os mesmos materiais deste presente trabalho. Essa maior porosidade está

associada ao compósito da camada inferior da placa, que apresentou menor condutibilidade térmica, conforme esperado.

Quando se introduz porosidade em um material este se torna mais isolante (LUMBAU, 2007), e, sendo assim ele retém mais calor no ambiente, como foi observado na Figura 57, onde os tratamentos T2 e T3 apresentaram temperaturas maiores quando comparados com tratamento T1.

Figura 27 – Absorção de água das placas planas nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

Figura 28 – Densidade aparente das placas planas nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

Figura 29 – Porosidade aparente das placas planas nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

5.3.1.3. Avaliação térmica das placas planas

Os dias de menor entalpia do período estudado foram o 2º, 3º e 7º dia.

Os resultados de temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa (UR) nos três tratamentos analisados encontram-se na Tabela 8 e

Figura 30. Não houve diferenças significativas ($P > 0,05$) entre as Tbs do T2 e T3. Nestes dois tratamentos os valores encontram-se dentro dos recomendados por PANDORFI et al. (2005). Quando comparamos o T1 aos outros dois tratamentos obtivemos diferenças significativas ($P < 0,05$), onde, a média encontrada ficou acima da temperatura crítica superior (35°C), indicada para leitões até 10 dias de vida, segundo Sampaio (2004),

A variação da umidade relativa do ar no interior dos escamoteadores apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$), dos tratamentos T2 e T3 em relação ao T1, estando dentro dos valores recomendados por Pandorfi (2002) e Leal e Nããs (1992). De acordo com Nããs (1989), a umidade relativa do ar, se torna problema no

desempenho de leitões somente quando associadas a altas temperaturas, pois, conduz a aumentos da frequência respiratória e temperatura retal.

Tabela 8 – Valores médios de Temperatura de Bulbo Seco (Tbs) e Umidade Relativa (UR) nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

	T1	T2	T3
Tbs	36,07 ^a	31,55 ^b	32,43 ^b
UR	23,16 ^a	21,28 ^b	20,92 ^b

Figura 30 – Comportamento da temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar nos tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

As médias dos índices de temperatura e umidade (ITU) e temperatura de globo e umidade (ITGU) correspondentes ao período experimental em função dos tratamentos adotados, estão apresentadas na Tabela 9 e Figura 31.

Tabela 9 – Valores médios dos índices de temperatura e umidade (ITU), de globo negro e umidade (ITGU) nos três tratamentos

	T1	T2	T3
ITU	73,97 ^a	67,69 ^b	68,76 ^b
ITGU	71,48 ^a	69,14 ^b	67,71 ^c

Figura 31 – Resultados de ITU e ITGU para os tratamentos: referência (T1), cinzas de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal e FGM (T2) e cinza de cama sobreposta de suínos + fibra de sisal (T3)

O ITU apresentou valores maiores para o T1, diferindo estatisticamente dos T2 e T3. O valor médio do ITU foi observado para o tratamento T1 verificando-se valores superiores ao recomendado, de aproximadamente 67-68 (BAÊTA e SOUZA, 1997). Os tratamentos T2 e T3 se comportaram corroborando com os índices citados por Pandorfi (2002).

O ITGU diferiu estatisticamente nos três tratamentos apresentando maiores valores para o T1. Os tratamentos 1 e 3 apresentaram valores abaixo e acima do recomendado, respectivamente, segundo PANDORFI et al. (2005). No T2, o ITGU ficou dentro do limite mínimo indicado (Fávero 2008 e Nããs, 2007).

5.3.2. Considerações parciais

- Esta parte do trabalho tinha por principal meta o aumento da porosidade da placa para redução da condutibilidade térmica e consequentemente maior isolamento térmico.
- Como um dos efeitos de tal aumento da porosidade, houve redução significativa da resistência mecânica da placa dos tratamentos com reforço fibroso. Tal redução de resistência, não compromete o desempenho da placa como elemento integrante do escamoteador. Isso porque a placa será empregada na condição completamente apoiada sobre o solo compactado (piso da maternidade), o que reduz a necessidade de alta resistência à flexão.
- A maior porosidade da camada com fibras, não prejudicou muito a durabilidade da placa, pois a camada superior em contato com os dejetos dos animais e água de limpeza não contém fibras.
- No tratamento que utilizou o conceito de FGM (T2), o ITU ficou dentro do recomendado e o ITGU abaixo. Neste caso, sugere-se uma fonte de aquecimento extra dentro do escamoteador.
- Assim, o tratamento que utilizou o conceito de FGM foi o escolhido para a produção de placas acrescidas de aquecimento, para a próxima fase do trabalho.

5.4. ESCAMOTEADORES

Os três dias de menor entalpia do período experimental e escolhidos para as análises de conforto térmico foram o 5º, 6º. e 10º dia.

5.4.1. Conforto térmico

5.4.1.1. Ambiente interno do escamoteador

Na Tabela 10 estão apresentados os valores médios das variáveis ambientais dos escamoteadores nos três diferentes tratamentos.

Tabela 10 – Médias dos índices entalpia (kJ/kg de ar seco), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e temperatura de superfície do piso (T°P) para os tratamentos de referência (T1), placa + lâmpada 200 W(T2) e placa + lâmpada 50 W + resistência elétrica (T3)

Tratamentos	Entalpia	ITGU	T°piso (°C)
T1	87,4 ^a	90,8 ^a	37,6 ^a
T2	89,7 ^a	92,4 ^a	38,5 ^a
T3	67,8 ^b	75,2 ^b	33,2 ^b

Observou-se que o tratamento T3 apresentou valores médios menores ($p < 0,01$) de todos os índices estudados comparados com os tratamentos T1 e T2. Já os valores médios dos três índices foram semelhantes nos tratamentos T1 e T2, não tendo apresentado diferenças significativas entre si ($p > 0,05$) e diferindo estatisticamente do T3 ($p > 0,05$).

A seguir, será realizada a análise detalhada de cada um dos índices ambientais avaliados.

5.4.1.1.1. Entalpia

A Figura mostra o comportamento dos valores médios da Entalpia nos três tratamentos, em diferentes horários. Houve interação entre tratamento e hora ($p<0,01$).

Figura 60 – Médias de entalpia (kJ/kg de ar seco) e erro padrão da médias, nos tratamentos referência (T1), placa + lâmpada 200 W(T2) e placa + lâmpada 50 W + resistência elétrica (T3)

No horário das 8 h, as médias de entalpia para os tratamentos T1 e T2 foram 76,7 e 80,6 kJ/kg de ar seco, respectivamente, não tendo diferido entre si. No tratamento T3 o valor de entalpia foi 65,9 kJ/kg de ar seco e foi menor ($p<0,01$) do que os valores de T1 e T2.

Às 11 h, os valores de entalpia foram 84,56, 85,26 e 66,24 kJ/kg de ar seco para os tratamentos T1, T2 e T3 respectivamente. Os valores de entalpia dos tratamentos T1 e T2 não diferiram entre si e foram significativamente ($p<0,01$) maiores do que os do tratamento T3.

Os valores de entalpia dos tratamentos T1, T2 e T3, no horário das 14 h, foram 93,33, 95,40 e 69,05 kJ/kg de ar seco, respectivamente. Semelhante ao observado nos horários anteriores, a entalpia dos tratamentos T1 e T2 não

apresentaram diferença entre si e foram maiores ($p < 0,01$) do que a do tratamento T3.

Da mesma forma, no horário das 17 h, os tratamentos T1 (95,27 kJ/kg de ar seco) e T2 (97,46 kJ/kg de ar seco) não apresentaram diferença estatística ($p < 0,01$), mas foram maiores do que o valor de T3 (70,30 kJ/kg de ar seco).

A quantidade de calor existente na massa de ar seco de cada escamoteador, de acordo com os dados apresentados na Figura , não foi eficiente no acondicionamento térmico dos animais. Porém, entre os tratamentos estudados, a placa com resistência elétrica, embora abaixo da condição entálpica necessária ao conforto dos leitões, foi a mais próxima do valor considerado ideal de 73,8 kJ/kg de ar seco (MOURA, 2007; PANDORFI, 2002). A entalpia é um dado considerado importante, pois altos valores de entalpia, limitam os mecanismos termorreguladores dos leitões, como a evaporação respiratória, podendo levar o animal a morte (NÃÃS, 2007).

5.4.1.1.2. Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU)

A análise do ambiente interno dos escamoteadores por meio das médias do ITGU, nos diferentes tratamentos está representada na Figura . Houve interação entre tratamento e hora ($p < 0,01$).

Figura 61 – Médias de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e erro padrão da médias, nos tratamentos referência (T1), placa + lâmpada 200 W(T2) e placa + lâmpada 50 W + resistência elétrica (T3)

Os valores médios de ITGU no horário das 8 h foram 83,61, 86,71 e 72,40 para os tratamentos T1, T2 e T3. No horário das 11 h, os valores foram 89,11, 90,17 e 73,96 para T1, T2 e T3 respectivamente. Já às 14 h, os valores de T1, T2 e T3 foram 94,72, 95,91 e 76,82, respectivamente. Às 17 h, os valores de ITGU foram 95,88, 97,10 e 77,97 respectivamente para T1, T2 e T3.

Semelhante ao que ocorreu com os valores da entalpia, em todos os horários, os valores de T1 e T2 não diferiram entre si. Para os valores de ITGU do tratamento T3 foram observadas médias inferiores ($p < 0,01$), aos tratamentos T1 e T2, em todos os horários estudados. Os valores de T1, às 8h foram aqueles que apresentaram valores mais próximos do ideal, de 82-84 (NECOECHEA, 1986). Pandorfi et al. (2005), obtiveram resultados próximos ao ideal, em estudo de abrigos escamoteadores equipados com resistência elétrica de 200 W, fixada na parede de uma das extremidades do abrigo, à uma altura de 0,50 m do piso. Segundo Pandorfi (2003), quando algum tratamento, no caso dos tratamentos T1 e T2, promove condições inadequadas, em que a temperatura nos horários mais quentes do dia,

está acima da temperatura crítica superior (TCS), o animal entra em estresse calórico. Altas temperaturas são associadas à redução no desempenho, por causa da diminuição no consumo de alimento e ao custo energético associado à dissipação do calor (NÃÃS e SILVA, 1998). Estes valores encontrados para o tratamento T3, indicam que a resistência elétrica inserida na placa, não conduziu o calor para o interior do escamoteador.

5.4.1.1.3. Temperatura do piso dos escamoteadores

Na Figura é demonstrado que o tratamento 3, produziu uma condição ambiental que manteve a temperatura do piso mais próxima da faixa de conforto para os leitões. Houve interação entre tratamento e hora ($p < 0,05$).

Figura 70 – Médias de temperatura do piso (°C) e erro padrão da médias, nos tratamentos referência (T1), placa + lâmpada 200 W(T2) e placa + lâmpada 50 W + resistência elétrica (T3)

Às 8 h não foi observada diferença significativa das temperaturas entre os três tratamentos (32,33, 35,0 e 32,33 °C para T1, T2 e T3, respectivamente). No horário das 11 h, não houve diferença entre os valores dos tratamentos T1 (39,33°C) e T2 (38,66°C), porém a temperatura do piso no tratamento T3 (32,33°C) foi menor ($p<0,05$) do que as do tratamento T1 e T2.

As temperaturas no horário das 14 h foram 40,66, 40,33 e 35,66 °C para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente e não foi observada diferença significativa entre os tratamentos. Às 17 h, as temperaturas dos tratamentos T1 e T2 não apresentaram diferença significativa (41,0 e 40,33 °C, respectivamente) entre si, mas foram menores ($p<0,05$) do que a temperatura do piso do T3 (32,33 °C).

Nos tratamentos 1 e 2, a temperatura estava acima do ideal e com grandes variações durante o dia. A resistência elétrica, embora não tenha conduzido o calor para o interior do escamoteador, não atingindo o ITGU adequado, manteve o piso do T3 dentro da temperatura ideal para os leitões e também apresentou menor oscilação ao longo das horas, devido a regulação pelo termostato.

5.4.1.2. Animais

5.4.1.2.1. Temperatura timpânica dos leitões

Com relação à temperatura timpânica dos leitões, não foi observado efeito de tratamento para essa variável. No entanto, observou-se efeito dos horários de coleta. A Figura representa os valores médios da temperatura timpânica dos leitões nos diferentes horários.

Figura 71 – Médias de temperatura timpânica (°C) e erro padrão da médias, nos tratamentos referência (T1), placa + lâmpada 200 W(T2) e placa + lâmpada 50 W + resistência elétrica (T3)

Os valores médios das temperaturas timpânicas dos leitões foram 34,24, 36,15, 36,33 e 35,64 °C para os horários das 8, 11, 14 e 17 h, respectivamente. Para as temperaturas nos horários das 11, 14 e 17 h não foram observadas diferenças significativas entre elas. A temperatura timpânica no horário das 8 h foi significativamente menor ($p < 0,01$) em relação aos outros três horários.

Na análise de correlação entre os índices térmicos e os índices fisiológicos dos leitões (Tabela 6), além da alta correlação entre a Entalpia e o ITGU, foi encontrada correlação entre a temperatura timpânica e ITGU e entre temperatura timpânica e superficial da pele dos leitões, confirmando que a temperatura timpânica pode ser considerada confiável como parâmetro de avaliação do conforto térmico. O tímpano é próximo à região do hipotálamo, que regula a temperatura corporal, e é considerada uma temperatura interna onde a variação térmica é menor. Estes resultados corroboram com os encontrados por Andersen et al. (2007).

5.4.1.2.2. Temperatura de superfície corporal dos leitões

Não houve efeito de tratamento para a variável temperatura de superfície corporal, mas houve efeito de hora. A Figura representa as médias de temperatura de superfície corporal para cada um dos horários analisados.

Figura 72 – Médias de temperatura de superfície corporal dos leitões (°C) e erro padrão da médias, nos tratamentos referência (T1), placa + lâmpada 200 W(T2) e placa + lâmpada 50 W + resistência elétrica (T3)

Os valores de temperatura de superfície corporal nos horários das 8, 11, 14 e 17 h foram 34,12, 35,98, 35,72 e 35,24, respectivamente. Semelhante ao que ocorreu com a temperatura timpânica, apenas os horário das 8 h se diferenciou dos demais, tendo sido menor ($p < 0,01$) significativamente. Não houve diferença entre os horários das 11, 14 e 17 h.

5.4.2. Análise comportamental dos leitões

Para a análise de imagens, foi escolhido o dia mais crítico do experimento (10º dia), com menor entalpia.

Nas Figuras 73, 74 e 75 são apresentadas as imagens capturadas pelas microcâmeras, no escamoteador, nos horários de 8 e 14 h, para os três tratamentos.

(a)

(b)

Figura 73 – Imagens capturadas as 8 h (a) e 14 h (b), no Tratamento 1 (referência), representando a localização dos leitões nas baias de maternidade

De acordo com a Figura 73a, observou-se que no horário mais frio do dia (8 h), no tratamento T1, os animais encontraram-se fora do escamoteador. Esse fato, indica que a temperatura dentro do abrigo escamoteador estava acima da temperatura crítica superior. Porém, a temperatura ambiental externa, estava abaixo da temperatura de conforto. Contudo, os leitões buscaram uma fonte de calor (luz do sol) e tenderam a se agrupar para produzirem calor.

No horário mais quente do dia (14 h – Figura 73b), os animais se mantiveram fora do escamoteador, espalhados, sendo classificados na categoria de conforto,

segundo Xin (2009). Como os animais ficaram fora do escamoteador, estas imagens confirmam que os valores de ITGU e entalpia dentro do escamoteador estavam acima do recomendado.

(a)

(b)

Figura 74 – Imagens capturadas as 8 h (a) e 14 h (b), no Tratamento 2 (placa com cinzas de cama sobreposta de suínos e fibra curta de sisal + lâmpada de 200 W), representando a localização dos leitões nas baias de maternidade

Às 8 h, no tratamento T2 (Figura 74a), somente dois animais estavam dentro do escamoteador, indicando que os outros animais se encontravam espalhados, na baia de maternidade. Como a fonte de calor é a mesma do tratamento T1, a mudança da formulação da placa influenciou significativamente, o ambiente interno do escamoteador.

A figura 74b, apresenta a imagem às 14 h. Os animais se mantiveram fora do escamoteador, muito espalhados, sendo classificados na categoria de calor, segundo Xin e Shao (2002). Como os animais ficaram fora do escamoteador, essas imagens confirmam que o ITGU, entalpia, temperatura de piso, corporal superficial e timpânica, estavam acima do recomendado. Esses resultados também foram observados por Vasques, Di Campos e Savastano Jr. (2008), em estudos prévios.

(a)

(b)

Figura 75 – Imagens capturadas as 8 h (a) e 14 h (b), no Tratamento 3 (placa com cinzas de cama sobreposta de suínos e fibra curta de sisal + resistência elétrica), representando a localização dos leitões nas baias de maternidade

De acordo com a Figura 75a, observou-se que no horário mais frio do dia (8 h), os animais estavam agrupados, dentro do escamoteador. Este perfil de distribuição dos leitões no interior do escamoteador, indicou que a temperatura interna do escamoteador estava abaixo dos limites recomendados. No entanto, como os leitões estão agrupados em um ponto específico do piso, esta imagem reafirma o que foi constatado para a temperatura de piso. Embora o ITGU e a entalpia, estivessem abaixo do recomendado por Pandorfi (2002), a temperatura do piso, com a resistência elétrica, foi satisfatória. Permitiu-se assim, que os leitões se mantivessem em temperatura de conforto térmico, com a temperatura timpânica e de superfície corporal ideal.

Às 14 h (Figura 75b), no horário de maior desconforto térmico, de acordo com Sampaio (2004), os animais se mantiveram agrupados, próximos à fonte de calor. Corroborando com Pandorfi et al. (2004), em pisos térmicos, nas horas mais quentes do dia, a utilização destes faz com que os animais se acomodem na entrada do

abrigo escamoteador, pois a condução do calor pelo piso, associada à lâmpada, causa desconforto aos animais. Por isso, deve-se regular a temperatura da resistência, quando esse comportamento for observado.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que:

- Os resultados da avaliação de composição química, difração de raios-X, do DSC e do TG, e condutividade elétrica, validaram a utilização da cinza da cama sobreposta de suínos como material de substituição parcial do cimento Portland até 30% em massa. A temperatura ideal de calcinação foi de 600 °C, com rampa de 5°C/minuto, durante 3 h. O material selecionado indicado foi o passante na peneira ABNT Nº 200 (# 0,074 mm). A produção de sílica a partir deste resíduo agropecuário é uma alternativa para solucionar o problema da disposição da cama sobreposta no meio ambiente, além de gerar um produto de maior valor agregado sem que haja geração de um novo resíduo.
- Com a utilização do conceito de gradação funcional dos materiais (FGM) e a produção da placa em duas camadas, as CCSS conseguiram aumentar a condutividade térmica e a fibra de sisal incorporou o ar na placa e, assim, reduziu a condução do calor para a parte inferior.
- As variáveis térmicas dentro dos escamoteadores ficaram abaixo do recomendado para leitões, quando testadas em laboratório, apontando necessidade de utilização de uma fonte de aquecimento extra dentro do escamoteador.
- As variáveis térmicas indicaram que o tratamento com resistência elétrica se mostrou mais adequado para o conforto térmico dos leitões.
- De acordo com o perfil de distribuição dos leitões nas baias de maternidade, os animais apresentaram a tendência de buscar aquecimento nos horários mais frios do dia. O tratamento com a utilização de resistência elétrica permitiu a regulação da temperatura de acordo com as variáveis térmicas e a necessidade dos leitões, permitindo que com isso, os leitões mantivessem a homeotermia e

permanecessem mais tempo dentro do escamoteador, o que é indicado para essa fase da criação.

- Nesse contexto do estudo, a associação dos resultados dos materiais estudados, variáveis ambientais e avaliação comportamental dos leitões por imagens, confirmam e validam a utilização da placa em duas camadas com cinzas de cama sobreposta de suínos e fibra de sisal, associada ao uso da lâmpada de 50 W e resistência elétrica como o melhor tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRIGHT L. D. **Environment Control for Animals and Plants**. An ASAE Textbook Number 4. American Society of Agricultural Engineers, Michigan, 1990. 453p.

AMARAL, A. L. do; MORES, N.; BARIONI JR., W.; VENTURA, L.; SILVA, R. A.; M. da; SILVA, V. S. da. **Fatores de risco, na fase de crescimento-terminação, associados a ocorrência de linfadenite em suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, p. 1-4, 2002. Comunicado Técnico n. 297.

ANDERSEN, H. L. et al. The ear skin temperature as an indicator of the thermal comfort of pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, v.3, n.7, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. ed. São Paulo, 2002, 28p. (BT-106) ISBN 85-87024-23-X.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica: índice de atividade pozolânica com cal, Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto, Especificação. Rio de Janeiro, 1983. 5p.

_____. **NBR 7217**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. Reciclagem de resíduos agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, v.10, n.2, p.22-25, 2005.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246p.

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando seqüência de imagens. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.93-99, jan./ abr. 2007.

BERALDO A. L. Compósitos biomassa vegetal-cimento. In: GHAVAMI K.; TOLEDO FILHO, R.D.; NASCIMENTO W.J. **Materiais não-convencionais para construções rurais**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.1-48.

BERTO, J. L. **Balanço de nutrientes em uma sub-bacia com concentração de suínos e aves como instrumento de gestão ambiental**. 2004. 196 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BUFFINGTON, D.E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n.3, p.711-714, 1981.

CAMPOS, E. J. O. Comportamento das aves. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.2, n.2, p.93-113, 2000.

CHOW, C.P.L., X.S.; XING R.; YAN LI. Moisture absorption studies of sisal fibre reinforced polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, v. 67, Issue 2, p. 306-313, 2007.

CORDEIRO, M. B et al. Efeito de sistemas de criação no conforto térmico ambiente e no desempenho produtivo de suínos na primavera. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1597-1602, out.2007.

CORDEIRO, M. B. et al. Efeito de sistemas de criação no conforto térmico ambiente e no desempenho produtivo de suínos na primavera. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.5, p.1597-1602, out. 2007.

CORRÊA, É. K. et al. Efeito de diferentes profundidades de cama sobre parâmetros ambientais para suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.5, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n5/v12n05a16.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2008.

CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University Press, 1983. 409p.

DALLA COSTA, O. A. et al. Desempenho, características de carcaça, qualidade da carne e condição sanitária de suínos criados nas fases de crescimento e terminação nos sistemas confinado convencional e de cama sobreposta. **Ciência Rural**, v.38, n.8, p.2307-2313, abr.2008.

DELLA V., P.; KUHN I.; HOTZA D.; Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, São Paulo, v.24 n.6, nov./dez. 2001.

DI CAMPOS, M. S. **Aproveitamento das cinzas da queima da cama sobreposta de suínos como substituição parcial do cimento Portland**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2005.

DI CAMPOS, M. S.; BARBOSA, N. P.; SAVASTANO JR., H. Swine deep bedding ashes as a mineral additive for cement based mortar. **Science Agrícola**, Piracicaba, v.65, n.2, p.109-115, Apr 2008.

ECIVILNET. Reações álcalis-agregado em estruturas de concreto. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com>. Acesso em 5. out. 2007.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Diagnóstico das propriedades suinícolas da área de abrangência do Consórcio Lambari, SC: relatório preliminar**. Concórdia, 2003. 33 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 84).

ENGLISH, P. R. Improving piglet survival, growth to weaning and post weaning performance. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 3., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 1998. p. 17-36.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. 2.ed. Westport: AVI Publishing Company, 1974. 325p.

FÁVERO, J. A. **Sistemas de produção 2 – suínos**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Suinos/SPSuinos/index.html>>. Acesso em: 20 jul. 2008.

FERREIRA, D. F.; AMENDOLA, M.; NAAS, I. A. Identification of behavioral response in hot climate in female broiler breeder using telemetry. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE CIGR- NEW TRENDS IN FARM BUILDINGS, 2004, Évora. **Proceedings...** Évora : Universidade de Évora, 2003. v. 1. p. 1-5.

FERREIRA, R. A. et al. Comportamento e parâmetros fisiológicos de leitões nas primeiras 24 horas de vida. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.6, p.1845-1849, dez. 2007.

fibres as reinforcement for cement based composites. **Cement and Concrete Composites**, England, v.22, n.5, p.379-384, 2000.

FRAILE, V.; LESCANO, C.A.A.; ROCHA, S.C.S. Caracterização física do resíduo de leite de soja úmido e seco e do material inerte utilizado na secagem em leito de jorro. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 13., 2005. Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2005. 1CD-ROM.

GAVA, G.P.; PRUDÊNCIO JR., L.R.; CASALI, J.M. Comparação entre diferentes metodologias utilizadas no Brasil para avaliação da pozolanicidade da cinza volante e da cinza da casca de arroz. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1999.

GEERS, R. et al. The group postural behaviour of growing pigs in relation to air velocity, air and floor temperature. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 16, 353–362, 1986.

GONÇALVES, R. G.; PALMEIRA, E.M. Suinocultura brasileira. **Revista académica de economia**, n.71, dec. 2006.

GRAVES, H.B. Behavioral responses of poultry (chickens) to management systems. In: SYMPOSIUM OF MANAGEMENT OF FOOD PRODUCING ANIMALS, 1982, West Lafayette. **Proceedings...** Wes Lafayette: Purdue University, 1982. v.2, p.122-38.

HANNAS, M.I. Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: AMBIÊNCIA E QUALIDADE NA PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE SUÍNOS, 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1999. p.01-33.

HEINRICKS, H.; R. BERKENKAMP; K. LEMPFER; H.J. FERCHLAND. Global review of technologies and markets for building materials. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONF., 7, Sun Valley, 2000. **Proceedings...** Moscow: University of Idaho, 2000.

HIGARASH, M.M.; KUNZ, A.; OLIVEIRA, P.A. Redução da carga poluente – Sistemas de tratamento. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. Cap. 5, p. 119-148.

HOLANDA, M.C.R. et al. Tamanho da leitegada e pesos médios, ao nascer e aos 21 dias de idade, de leitões da raça Large White. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.57, n.4, p.539-544, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Efetivo e valor do rebanho suíno**. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/default.shtm>>. Acesso em: 2 nov. 2008.

ISMAIL, M.S.; WALIUDDIN, A.M. Effect of rice husk ash on high strength concrete. **Construction and Building Materials**, v.10, p.521-526, 1996.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. G. Cinza e aglomerantes alternativos. In: Freire, W. J.; Beraldo, A. L. **Tecnologia e materiais alternativos de construção**. Campinas: UNICAMP, 2003. cap.6, p.145-190.

JOSEPH, K.; MEDEIROS, E. S. e CARVALHO, L. H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. **Polímeros**, v. 9, n. 4, pp. 136-141, 1999a.

JOSEPH, P. V. KURUVILLA J. AND SABU T. Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal-fiber-reinforced polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, v. 59, Issue 11, p.1625-1640, 1999b.

KLEINER, T. **Fibrocimentos Reforçados com Fibras Vegetais: Influência do Tipo de Polpa e do Processo de Fabricação**. 2007. 42 f. Relatório (CNPq) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

KONZEN, E.A.; MENEZES, J.F.S.; ALVARENGA, R.C. Monitoramento ambiental do uso de dejetos líquidos de suínos como insumo na agricultura. 3. Efeito de doses na produtividade de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - MEIO AMBIENTE E A NOVA AGENDA PARA O AGRONEGÓCIO DE MILHO E SORGO, 14., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: EMBRAPA, 2002. p. 24-27.

KUNZ, A. et al. **Recomendações técnicas para uso de esterqueiras para a armazenagem de dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, p. 1-4, 2004. Comunicado Técnico n. 361.

LEAL, P. M.; NÃÃS I. A. Ambiência animal. In: CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G. (Org.). **Introdução à engenharia agrícola**. Campinas, SP: Unicamp. 1992. p.121-135.

LEE J. A., KELLY H., VAN BURIK H. Affordable, safe housing based on expanded polystyrene (Eps) foam and a cementitious coating. In: INTER AMERICAN CONFERENCE ON NON-CONVENCIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN ECO-CONSTRUCTION AND INFRASTRUCTURE – IAC-NOCMAT, 1., 2003, João Pessoa. **Proceedings...** João Pessoa, 2003. 11p.

LIMA, K. A. O.; MOURA, D. J.; SILVA, W. T. A visão computacional para caracterização de bem-estar de animais em confinamento. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA AMÉRICA LATINA, 3., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2006. Disponível em: <http://www.cori.unicamp.br/CT2006/trabalhos>. Acesso em: 02 ago. 2008.

LIMA, P. R. L. et al. Caracterização mecânica de laminados cimentícios esbeltos reforçados com fibras de sisal. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.11, n.6, pp. 644-651, jul. 2007,.

LIMA, P. R. L. et al. Influence of calcined-clay on the flexural behaviour of sisal fibre reinforced mortar composites submitted to accelerated aging. In: zomposite in Constructions, 2003, Cosenza: FGS. **Proceedings...** Cosenza, p227-233, 2003.

LIMA, S. F.; ROSSIGNOLO, J. A.; CAMPOS, M. F. Pozolanicidade e resistência mecânica de argamassas confeccionadas com cinza da casca da castanha de caju. **Minerva**, v.5, n.3, p.249-256, 2009.

LUMBAU, E. S. **Aproveitamento de resíduos agropecuários como matéria prima para componentes construtivos**. 2007. 44 f. Relatório (Graduação) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

MANNO, M. C. et al. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 15 aos 30 kg. **Revsta Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.6, p.1963-1970, dez. 2005.

MARCHANT, J. A.; ANDERSEN, H. J.; ONYANGO, C. M. Evaluation of an imaging sensor for detecting vegetation using different waveband combinations. In: COMPUTERS AND ELETRONICS IN AGRICULTURE, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campinas, 2001. p.101-17.

MARTELLO, L.S.; CASADO, C.E.F.; SAVASTANO JR., H. Cinzas de dejetos suínos como adição em produtos à base de cimento. In: SEMINÁRIO SOBRE POLUENTES AÉREOS E RUÍDOS EM INSTALAÇÕES PARA PRODUÇÃO DE ANIMAIS, 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2002. p. 103-

MATOS, A. T. et al. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquido de suínos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 254, p. 399-410, 1997.

MIRANDA, C. R. Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: SEGANFREDO, M.A. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. Cap. 1, p. 13-36.

MORALES, E. V. et al. Actividad puzolánica y aspectos microestructurales de las cenizas de bagazo y paja de caña de azúcar a través de la microscopia electrónica de transmisión. In: Conferência Brasileira sobre 105

MOREIRA, R. F. et al. Efeito do aquecimento e resfriamento de pisos em maternidades para suínos no desempenho de matrizes e leitões. In: CONGRESSO DA ABRAVES, 11., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABRAVES, 2003.

MOUNT, J. The assessment of thermal environment in relation to pig production. **Livestock Production Science**, v.2, p.381-392, 1975.

MOURA, D. J. de. Ambiência na produção de aves em clima tropical. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.611-618, 2007.

MOURA, D.J. et al. The use entalpy as a thermal comfort index. In: LIVESTICK ENVIRONMENT, 5., 1997, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1997. v.1, p.242-248.

MOURA, M.J.; FIGUEIREDO, M. M. **Aplicação das técnicas de Picnometria de gás e porosometria de mercúrio à caracterização da madeira E. Globulus**. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Química, Pinhal de Marrocos, 2006. Disponível em: <
<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v10n2/10n2a07.pdf>> . Acesso em: 13 nov. 2008.

NÄÄS, I. A. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.326-335, 2007.

NÄÄS, I. A. Aspectos físicos da construção no conforto térmico do ambiente das instalações In; CONFERENCIA APINCO DE CIENCIA E TECNOLOGIA AVICOLA, 3.. Santos. **Anais...** Sabtos: APINCO, 1994.

NÄÄS, I. A.; SILVA, I. J .O. Técnicas modernas para melhorar a produtividade dos suínos através do controle ambiental. In: Ingenieria Rural y em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

NÄÄS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989. 183p.

NÄÄS, I.A.; SILVA, I.J.O. Técnicas modernas para melhorar a produtividade dos suínos através do controle ambiental. In: INGENIERÍA RURAL Y MECANIZACIÓN AGRARIA EN EL ÁMBITO LATINOAMERICANO. Campinas. **Anais...** Campinas: IRMC, p.464-72,1998.

NAIR, D. G.; JAGADISH, K. S.; FRAAIJ, A. Reactive pozzolanas from rice husk ash: an alternative to cement for rural housing. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. 1062-1071, 2006.

NAKATA, Y.; SUZUKI, M.; OKUTANI, T. Structure and morphology of phenylsilanes polymer films synthesized by the plasma polymerization method. **Journal Ceramic Society Japanese International**, p.830-841, 1989.

NECOECHEA, A. R. Doenças e meio ambiente. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, v.8, n.8, p.13-26, 1986.

ODA, G.A. **Estudo da atividade pozolânica da sílica da casca de arroz em matrizes de cimento Portland**. São Carlos: EESC/USP, 2003. 115p. Dissertação (Mestrado).

OLIVEIRA, M. P.; NOBREGA, A. F.; DI CAMPOS, M. S.; BARBOSA, N. P. Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland. Conferencia Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais: Habitação e infra-estrutura de interesse social Brasil - NOCMAT 2004, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: USP, 2004. 15p.

OLIVEIRA, P. A. V et al. **Modelo de Edificação para a produção de leitões em Cama Sobreposta**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, p. 1-2, 2002. Comunicado Técnico n. 299.

OLIVEIRA, P. A. V et al. **Modelo de Edificação para a produção de leitões em Cama Sobreposta**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, p.1-2, 2002. Comunicado Técnico n. 299.

OLIVEIRA, P. A. V. de Produção de suínos em sistemas deep bedding: experiência brasileira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 5., 2000, São Paulo. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA, 2000.

OLIVEIRA, P. A. V.; NUNES, M. L. A. Suínos em cama sobreposta. **Suinocultura industrial**, Porto Feliz, n. 161, p. 10-18, 2002.

PAES, J. B. et al. Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 41-51, jan.-mar., 2009.

PANDORFI, H. **Avaliação do comportamento de leitões em diferentes sistemas de aquecimento por meio da análise de imagem e identificação eletrônica**. 2002. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PANDORFI, H. **Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e o uso de sistemas inteligentes na caracterização do ambiente produtivo: suinocultura de precisão**. 2005. 268 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PANDORFI, H. et al. Análise de imagem aplicada ao estudo do comportamento de leitões em abrigo escamoteador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.274-284, ago. 2004.

PANDORFI, H. et al. Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.99-106, mar.2005.

PERDOMO C. C. et al. **Efeito de diferentes sistemas de aquecimento no desempenho de leitões**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, p. 1-3, 1987. Comunicado Técnico n. 122.

PERDOMO, C.C. Controle do ambiente e produtividade de frangos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., SIMPÓSIO SOBRE AVICULTURA E SUÍNOCULTURA, 2001, Piracicaba. **Anais...** 1 CD- ROM.

PEREIRA, D. F. **Avaliação do comportamento individual de matrizes pesadas (frango de corte) em função do ambiente e identificação da temperatura crítica máxima**. 2003. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PÉREZ P. G. N. et al. Desempenho de cinzas de cama sobreposta de suíno como substituição parcial do cimento Portland com adição de fibras. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA USP, 13. 2005, São Carlos. **Anais...** São Paulo: USP, 2005. v. 1.

PEREZ, P. G. et al. Potencialidade do Caulim Calcinado Como Substituto Parcial do Cimento Portland. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 12., 2004, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: SIICUSP, 2004 (Não paginado).

PERISSINOTO, M. **Avaliação da eficiência produtiva e energética de sistemas de climatização em galpões tipo freestall para confinamento de gado leiteiro.** 2003. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PERISSINOTTO, M. et al. Influência do ambiente na ingestão de água por vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 289-294, 2005.

PORTELLA, K. F. et al. Biofouling e biodeterioração química de argamassa de cimento portland em reservatório de usina hidroelétrica. **Química Nova**, São Paulo, v.32, n.4, p.1047-1051, 2005.

PRADO, M.M. do; SARTORI, D.J.M. Estudo do fenômeno de encolhimento durante a secagem de sementes com diferentes características superficiais. In: ENEMP, 29., 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos.

PRUDÊNCIO JR., L.R. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional: Cinza da casca de arroz.** 4 ed. Porto Alegre: Janaíde Cavalcante Rocha e Vanderley M. John, 2003.

PUTEN, G. V. The pig: model for discussing animal behavior and welfare. **Applied Animal Behavior Science**, Amsterdam, v.22, n.2, p.115-28, 1989.

REED, J. S. **Principles of ceramics processing.** 2. ed. New York: Ed. John Wiley, 1938. p 640.

RODRIGUES, C. de S.; GHAVAMI, K. Efeitos da adição de cinza de casca de arroz no comportamento mecânico de compósitos cimentícios reforçados por polpas de bambu. In: BRASILNOCMAT 2004: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃOCONVENCIONAIS: HABITAÇÕES E INFRA-ESTRUTURA DE INTERESSE SOCIAL, 2004, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: FZEA/USP, 2004. p. 440-50. 1 CD-ROM.

ROPPIA, L. Brasil: características do 4º maior produtor e exportador mundial de carne suína. In: PORKEXP0 2009, 4, 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: PORKEXP0, 2009.

ROPPA, L. Situação atual e tendências da suinocultura mundial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA E QUALIDADE NA PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE SUÍNOS, 1, 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: NUPEA/ESALQ/USP, 1999. p. 196-206.

ROPPA, L. Tendências da suinocultura mundial e as oportunidades brasileiras. **Anuário da Pecuária Brasileira**, São Paulo, p. 281-284, 2002.

ROSSI, L. A.; CARDOSO, P. E. R.; BERALDO, A. L. Avaliação térmica de placas de argamassa de cimento e casca de arroz aquecidas por resistência elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.37-45, abr. 2005.

SALIN, M . M. **Caracterização das cinzas da cama sobreposta de suínos para utilização como material de substituição parcial do cimento Portland**. 2005. 28 f. Relatório (CNPq) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2005.

SAMPAIO, C. A. P. **Caracterização dos ambientes termico, aereo e acustico em sistemas de produção de suínos, nas fases de creche e terminação**. 2004. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SAMPAIO, C. A. P. et al. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.785-790, 2004.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. 1997.113f. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis, 1997.

SARTOR, V. et al. Efeito de modificações térmicas ambientais de verão nas respostas fisiológicas dos animais em maternidades suinícola. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 17, 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000

SARUBBI, J. **Estudo do conforto térmico, desempenho animal e racionalização de energia elétrica em uma instalação suinícola na região de Boituva-SP**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SAS INSTITUTE. **SAS OnlineDoc® 9.1.3**. Cary, 2004.

SAVASTANO JR., H. et al. Plant fibre reinforced cement components for roofing. **Construction and Building Materials**, v. 13, n. 8, p. 433-438, 1999.

SAVASTANO JR., H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000, 149f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SAVASTANO JR., H. Sustainable cement based materials and techniques for rural construction. In: AGRIBUILDING 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2001.

SAVASTANO, JR., WARDEN, P. G. Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites. **Cement & Concrete Composites**, v.25, n.5, p. 517-624, 2003.

SEGANFREDO, M. A. **Gestão Ambiental na Suinocultura.** Brasília: Embrapa, 2007.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 16, p. 129-141, 1999.

SEVEGNANI, K.B. et al. Zootecnia de precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.115-119, 2005.

SHAO, B. et al. Real-time Behavior-Based assessment and Control of swine thermal comfort. In: WORLD CONGRESS OF COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu: American Society of Agricultural Engineers, 2002. p.362-369.

SILVA, A. P. da. **Diagnóstico sócio, econômico e ambiental: aspectos sobre a sustentabilidade da bacia hidrográfica dos Fragosos–Concórdia/SC.** 2000.

SILVA, I. J. O. et al. Influência do sistema de criação nos parâmetros comportamentais de duas linhagens de poedeiras submetidas a duas condições ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1439-1446, 2006.

SILVA, I. J. O. Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: Simpósio Internacional de Suinocultura, 3., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Gessuli, 1999. p.108-325

SILVA, I. J. O.; PANDORFI, H.; PIEDADE, S. M. S. Uso da Zootecnia de Precisão na Avaliação do Comportamento de Leitões Lactentes Submetidos a Diferentes Sistemas de Aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.220-229, 2005.

SILVA, W. T. et al. Estimativa de bem-estar de leitões utilizando a visão computacional. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 6, n. 1, p.79-89, 2004.

SMITH, D., 1996. Characterization of lactose by helium pycnometer. In: STEPHENS, K. (ed.). **The Microreport: news and ideas for decision makers**. 2nd Quarter, 7(2) Micro-meritics Instrument Corporation, USA.

SNOWDON, C.T. O significado da pesquisa em comportamento animal. **Estudo de Psicologia**, Natal, v.4, n.2, p.365-73, 1999.

SOBESTIANSKY, J. et al. Infecção urinária na fêmea suína: epidemiologia, sintomatologia, diagnóstico e controle. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 6., 1993, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: ABRATES, 1993. p.51 - 63.

SOUZA, P. **O frio e sua influência no comportamento do suíno**. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/index.php?documento=1079> . Acesso em: 10 out. 2008.

SOUZA. P. S. L. Estudo da viabilidade do uso de argilas calcinadas, como metacaulim de alta reatividade (MCAR). **Engenharia Civil**, Portugal, v.15, p.45-54, 2002.

STOOT, G. H. What is animal stress and how it is measured? **Journal of Dairy Science**, v.52, p.150-157, 1981.
Suinocultura Industrial, Porto Feliz, n. 152, p. 16-26, jun./jul. 2001.

THOM, E. C. Cooling degree – day air conditioning, heating and ventilating. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.55, n.7, p. 65-72, 1958.

TINOCO, I. F.F. et al. Avaliação do índice de temperatura de globo negro e umidade e desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação criados em sistemas em camas sobrepostas em condições de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1624-1629, 2007 (supl.)

TOLEDO FILHO, R. D.; GHAVAMI, K; ENGLAND, G. L. Development of TOLON, Y. B.; NÄÄS, I. A. Avaliação de tipos de ventilação em maternidade de suínos. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.565-574. , 2005.

TONOLI G. H. D. et al. Thermal evaluation of asbestos-free roofing tiles for rural buildings. In: Conferência Brasileira sobre Materiais e Tecnologias Não convencionais na Construção Ecológica e Sustentável: BRASIL NOCMAT 2006. **Anais...** Salvador, 2006. 1 CD ROM.

USDA/USEPA. Unified National Strategy for Animal Feeding Operations, Washington, March 9, 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/npdes/pubs/finafost.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2008.

VASQUES, N. R.; DI CAMPOS, M. S.; SAVASTANO JR., H. Micro-clima interno de escamoteadores com placas pré-moldadas de piso com diferentes formas de aquecimento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 16., 2008, Pirassununga. **Resumos...** Pirassununga: SIICUSP, 2008 (Não paginado).

VIEIRA, C. A. B. et al. Interferência da lavagem de fibras sobre o desempenho do sizing nas propriedades mecânicas em compósitos híbridos vidro/sisal. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v.10, n.4, Jul. 2009 (Não paginada).

VILLAR-COCIÑA, E. et al. Kinetics of the pozzolanic reaction between lime and sugar cane straw ash by electrical conductivity measurement: A kinetic-diffusive model. **Cement and Concrete Research**, v.33, p. 517-524, 2003.

WEBB, P. A.; ORR, C., 1997. **Analytical Methods in Fine Particle Technology. Micromeritics Instrument Corporation, USA.** Disponível em: <<http://www.acilweber.com.br/trabalhos07.html>>. Acesso em: 13 nov. 2008.

XIN, H. Assessing Swine Thermal Comfort by Analysis Images of Postural Behaviour. **Journal Animal Science**, v. 77, Suppl. 2/1999.

XIN, H.; SHAO, J. Real-time assessment of swine thermal comfort by computer vision. In: WORLD CONGRESS OF COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu: American Society of Agricultural Engineers, 2002. p.362-369.

YAN LI, YIU-WING MAI AND LIN YE. Sisal fibre and its composites: a review of recent. **Composites Science and Technology**, v. 60, Issue 11, p. 2037-2055, 2000.

ZARDO, A. M. **Desempenho térmico de telhas de fibrocimento com substituição de parte do cimento por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar.** 28 f. Relatório (CNPq) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

ZARDO, A. M. et al. Utilização da cinza de bagaço cana-de-açúcar como filler em compostos de fibrocimento. In: I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: CLACS 2004 e ENTAC 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.

ZUCCO L.L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz.** 1999. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 1999.

_____. **Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-cinza-casca de arroz por meio de corpos de prova cilíndricos e placas prensadas.** 422 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.

ANEXO 1 – Resultados densidade real dos compósitos nos 4 tratamentos utilizados

Formulações	Densidade (g/cm ³)
Tratamento 1	2,7811
Tratamento 1	2,7269
Tratamento 1	2,71851
Tratamento 1	2,75637
Tratamento 1	2,73598
Média e Desvio Padrão	2,7438 + 0,0252
Tratamento 2	2,59394
Tratamento 2	2,58212
Tratamento 2	2,57597
Tratamento 2	2,57646
Tratamento 2	2,5719
Média e Desvio Padrão	2,5800 + 0,0086
Tratamento 3	2,73958
Tratamento 3	2,69537
Tratamento 3	2,68131
Tratamento 3	2,67954
Tratamento 3	2,68633
Média e Desvio Padrão	2,6964 + 0,0025
Tratamento 4	2,83458
Tratamento 4	2,74776
Tratamento 4	2,7896
Tratamento 4	2,7593
Tratamento 4	2,76828
Média e Desvio Padrão	2,7799 + 0,0341

ANEXO 2 – Resultados da temperatura da superfície dos corpos de prova nas
quatro diferentes formulações

Formulações	Temperatura da Superfície (°C)
Tratamento 1	20,20
Tratamento 1	20,65
Tratamento 1	19,58
Tratamento 1	21,05
Tratamento 1	20,30
Tratamento 1	19,53
Tratamento 1	19,85
Tratamento 1	19,93
M e DP	20,1363 +0,5252
Tratamento 2	19,00
Tratamento 2	20,87
Tratamento 2	21,51
Tratamento 2	20,55
Tratamento 2	21,00
Tratamento 2	19,68
Tratamento 2	20,00
Tratamento 2	20,18
M e DP	20,3488 + 0,8019
Tratamento 3	20,43
Tratamento 3	20,95
Tratamento 3	21,10
Tratamento 3	20,68
Tratamento 3	20,90
Tratamento 3	21,00
Tratamento 3	20,00
Tratamento 3	20,13
M e DP	20,6488 + 0,4174
Tratamento 4	19,95

Tratamento 4	20,48
Tratamento 4	20,43
Tratamento 4	20,50
Tratamento 4	20,97
Tratamento 4	20,80
Tratamento 4	21,02
Tratamento 4	20,18
<hr/>	
M e DP	20,5413 + 0,3738
<hr/>	