UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DÉBORA CAROLINE GONÇALVES DE OLIVEIRA

Avaliação do microclima interno de abrigos escamoteadores com diferentes tipos de pisos

Pirassununga

2010

DÉBORA CAROLINE GONÇALVES DE OLIVEIRA

Avaliação do microclima interno de abrigos escamoteadores com diferentes tipos de pisos

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

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Holmer Savastano Júnior

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

O48a

Oliveira, Débora Caroline Gonçalves de
Avaliação do microclima interno de abrigos escamoteadores com diferentes tipos de pisos / Débora Caroline Gonçalves de Oliveira. –- Pirassununga, 2010.
119 f.
Dissertação (Mestrado) -- 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. Cama sobreposta de suínos 2. Casca de arroz 3. Fibra de sisal 4. Cimento Portland 5. Placas de piso. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus queridos pais, Wanderley e Margarida, e minha amada irmã Lilian, que sempre foram fonte de amor, apoio, incentivo e que acima de tudo, acreditaram em mim e estiveram sempre ao meu lado auxiliando e me estimulando em todas as etapas de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, pela família que recebi e pelos amigos que colocou em meu caminho.

Ao Prof. Dr Holmer Savastano Jr. pela orientação, paciência, amizade, incentivo e pelos conhecimentos transmitidos, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

A Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA – USP) pela oportunidade de realização do curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo.

À Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Itapeva pela ajuda na aquisição da cama sobreposta de suínos, em especial à pesquisadora Simone Raymundo de Oliveira pela ajuda e atenção irrestrita.

Ao grupo de Construções & Ambiência: Celso, Ronaldo, Humberto, Aline, Gustavo, Sérgio, Marcos, Melissa, Tiago, Yatsen, Rafael e Prof Juliano pelo coleguismo e aprendizado. Em especial ao técnico e amigo Zaqueu, pela paciência e ajuda. E as amigas Priscilla, Camila, Viviane e Alessandra pela amizade, companheirismo e por todo apoio.

A todos os amigos da FZEA, especialmente a Eva, Juliana, Rodrigo, Liliane, Márcia Sgambatti, Marcinha Sakamoto, Ana Paula (Borrega) e Karina.

Aos demais professores, técnicos e auxiliares da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, que ao seu modo colaboraram para que o presente trabalho pudesse ser realizado.

Aos meus sempre amigos: Carol Yumi, Viviane, Silvia, Luciana, Tiani, Renata, Lucas, Bia e a Carol Serratto, pela vivência, aprendizado e amizade dedicados nestes últimos anos, levo todos comigo sempre, em meus pensamentos e coração.

A toda minha família e aos amigos queridos de São Paulo por entenderem meus momentos de recolhimento.

Enfim, agradeço a todas as pessoas, mesmo não sendo citadas, que ofereceram ajuda e colaboraram para esta conquista.

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

“O estudo, a busca da verdade e da beleza são domínios em que nos é consentido sermos crianças por toda a vida.”

Albert Einstein

RESUMO

OLIVEIRA, D. C. G. **Avaliação do microclima interno de abrigos escamoteadores com diferentes tipos de pisos.** 2010. 119f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.

O objetivo deste trabalho é avaliar o microclima interno de escamoteadores com diferentes formulações de placas cimentícias para o piso, aquecido com resistência elétrica. As placas de argamassa de cimento Portland tiveram por base o aproveitamento de resíduos agropecuários (cama sobreposta de suíno, fibra curta de sisal e casca de arroz) na sua confecção, em busca da melhoria nas propriedades físicas e mecânicas das placas. Essas matérias-primas serão utilizadas como material alternativo, na busca do reaproveitamento destes resíduos, que, na maioria das vezes, são descartados de forma errônea, prejudicando o meio ambiente. Esses resíduos foram caracterizados de forma a analisar sua potencialidade para a confecção das placas para piso de abrigo escamoteador. Foram confeccionados corpos-de-prova com seis diferentes tipos de formulações: referência de cimento Portland (C1), de CCSS em substituição a 30% em massa do cimento Portland (C2); de CCSS substituindo 30% de cimento Portland e fibras curtas de sisal substituindo 1,7% da massa da areia (C3); de CCSS substituindo 30% de cimento Portland e com casca de arroz substituindo 4% em massa de areia (C4); de cimento Portland com casca de arroz substituindo 4% da areia (C5); de cimento Portland com fibras curtas de sisal substituindo 1,7% da massa da areia (C6). Com base nos resultados dos ensaios físicos e mecânicos, as melhores formulações (C2, C3 e C4) foram escolhidas para a confecção das placas para o abrigo escamoteador. Para caracterização do ambiente, foram utilizados data-loggers para coleta de variáveis para determinação dos índices de conforto térmico: índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR), entalpia (H), além dos índices analisou-se também a temperatura ambiental (TA) e a umidade relativa (UR). Os dias com menor valor de entalpia (H) foram

considerados para análise comparativa dos índices de conforto, e os abrigos escamoteadores foram submetidos a quatro diferentes temperaturas de resistência (30, 35, 45 e 55 ℃). Os valores recomendados para ITGU, CTR, H, TA e UR foram observados nos três diferentes tratamentos com a temperatura da resistência elétrica acima de 35℃. Os resultados obtidos validaram o destino alternativo a CCSS, a fibra de sisal e a casca de arroz, como materiais viáveis para utilização em placas de piso para abrigos escamoteadores com aceitável desempenho térmico, físico e mecânico.

Palavras-chave: cama sobreposta de suínos, casca de arroz, fibra de sisal, cimento Portland, placas de piso

ABSTRACT

OLIVEIRA, D. C. G. **Evaluation of the internal microclimate of piggy´s houses with different types of Floors.** 2010. 119f. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.

The objective of this study is to evaluate the internal microclimate of piggy's houses with different formulations of cementitious boards for the floor, warmed with electrical resistance. The boards of ordinary Portland cement mortar were based on the use of agricultural residues (swine deep bedding, short-fiber sisal and rice husk) in its production, in search of improvement in physical and mechanical properties of the plates. These raw materials will be used as alternative materials searching reuse of waste, which in most cases are disposed of wrongly, harming the environment. These wastes were characterized in order to assess was potential for making the plates for floor piggy's houses. Samples were prepared with six different types of formulations: reference ordinary Portland cement (OPC) (C1), replacement of OPC by 30% by weight of ashes swine deep bedding (ASDB) (C2); replacement of OPC by 30% of ASDB and fiber short sisal replacing 1.7% of the mass of sand (C3); replacement of OPC by 30% of ASDB and rice husk replacing 4% by mass of sand (C4); OPC with rice husk replacing 4% of the sand (C5); OPC with short sisal fibers replacing 1.7% of the sand (C6). Based on the results of the mechanical and physical tests, the best formulations (C2, C3 and C4) were chosen for the preparation of the floor plates in the piggy's houses. To characterize the environment, data-loggers were installed for the collection of variables to determine the thermal comfort indices: black globe temperature and humidity index (BGHI), radiant heat load (RHL), enthalpy (H), ambient temperature (AT) and relative humidity (RH). The days with lower values of enthalpy (H) were considered for comparative analyses of the comfort indices, and piggy's houses were subjected to four different temperatures of electric resistance (30, 35, 45 and 55℃). The recommended v alues for BGHI, RHL, H,

AT and RH were achieved in the three different treatments with temperature of electric resistance above 35℃. The results validat ed the alternative destination to ASDB, sisal fiber and rice husks as viable material for use in floor plates piggy's houses with acceptable thermal, physical and mechanical performance.

Keywords: floor plates, Portland cement, rice husk, sisal fiber, swine deep bedding

Sumário

1. **INTRODUÇÃO** 15
2. **JUSTIFICATIVA** 16
3. **REVISÃO DE LITERATURA** 17
3.1 O SUÍNO E O AMBIENTE 17
3.1.1 **Índices de conforto térmico** 19
3.1.1.1 Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) 19
3.1.1.2 Carga térmica radiante (CTR) 20
3.1.1.3 Entalpia (H) 21
3.2 CAMA SOBREPOSTA DE SUÍNOS 21
3.2.1 **Reciclagem da Cama Sobreposta** 23
3.3 A CASCA DE ARROZ 24
3.3.1 **A Cinza de Casca de Arroz** 26
3.4 FIBRAS NATURAIS 27
3.4.1 **A Fibra de Sisal** 29
3.5 CIMENTO PORTLAND 30
3.5.1 **Origem do cimento Portland** 30
3.5.2 **Composição do Cimento Portland** 31
3.5.3 **Cimento Portland comum e cimento Portland de alta resistência Inicial** 31
3.5.4 **Cimento Portland e o meio ambiente** 32
3.5.5 **Adições minerais do cimento Portland** 33
3.6 COMENTÁRIOS ADICIONAIS 37
4. **OBJETIVOS** 38
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 38
5. **HIPÓTESE** 39
6. **MATERIAL E MÉTODOS** 40
6.1 OBTENÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS 40
6.1.1 **Cimento Portland** 40
6.1.2 **Areia** 40

6.1.3 **Casca de Arroz** 41
6.1.3.1 Cinza da Casca de Arroz 42
6.1.4 **Cama Sobreposta de Suínos** 43
6.1.5 **Fibra de Sisal** 44
6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS 45
6.2.1 **Análise Bromatológica** 45
6.2.2 **Caracterização química** 46
6.2.3 **Determinação da atividade pozolânica pelo método da condutividade elétrica** 46
6.2.4 **Difração de raios-X** 47
6.2.5 **Microscopia eletrônica de varredura** 47
6.2.6 **Massa específica** 48
6.2.7 **Distribuição granulométrica** 49
6.2.8 **Caracterização da fibra de sisal** 49
6.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS 49
6.3.1 **Ensaio preliminar: estudo da influencia do teor de casca no comportamento do compósito** 49
6.3.2 **Confecção dos compósitos** 51
6.3.3 **Caracterização física e mecânica** 53
6.4 PLACAS PARA O PISO DE ESCAMOTEADOR 56
6.4.1 **Confecção das placas** 56
6.4.2 **Escamoteadores** 58
6.4.2.1 Local do experimento 58
6.4.2.2 Montagem dos abrigos escamoteadores 58
6.4.3 **Caracterização do microclima** 60
6.4.3.1 Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) 62
6.4.3.2 Carga térmica radiante (CTR) 62
6.4.3.3 Entalpia (H) 63
6.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA 64
7. **RESULTADOS E DISCUSSÕES** 65

7.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS 65
7.1.1 **Cimento Portland** 65
7.1.2 **Areia** 67
7.1.3 **Casca de Arroz** 68
7.1.4 **Cinza da casca de Arroz** 69
7.1.5 **Cama sobreposta de suínos** 74
7.1.6 **Fibra de Sisal** 80
7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS 82
7.2.1 **Ensaio preliminar: estudo da influencia do teor de casca no comportamento do compósito** 82
7.2.1.1 Caracterização física 82
7.2.1.2 Caracterização mecânica 84
7.2.1.3 Considerações parciais 87
7.2.2 **Compósitos** 87
7.2.2.1 Caracterização física 87
7.2.2.2 Caracterização mecânica 91
7.2.2.3 Considerações parciais 96
7.2.3 **Caracterização do microclima** 97
7.2.3.1 Índices de conforto térmico 97
7.2.3.2 Considerações parciais 105
8. **CONSIDERAÇÕES FINAIS** 107
9. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** 108

1. INTRODUÇÃO

A produção de alimentos no mundo é altamente competitiva e tecnificada, atingindo em especial a suinocultura, que é uma atividade difundida nos cinco continentes. A produção nacional de carne suína até setembro de 2009 foi 13% maior que a do mesmo período de 2008, segundo dados do IBGE. Os dados da Pesquisa Trimestral do Abate da mesma instituição mostram que, entre janeiro e setembro de 2009, foram produzidas 2,2 milhões de toneladas do produto no País. No acumulado até novembro de 2009, foram vendidas ao exterior 496 mil toneladas de carne suína, quantidade 12,3% superior à de igual período de 2008. Este é o melhor resultado desde 2005 (ALMEIDA, 2010).

Inúmeras barreiras são expostas à exportação, podendo-se destacar as relacionadas à criação, baseada no bem estar animal, nos cuidados com o meio ambiente e também com a saúde do trabalhador. Para que a suinocultura possa ser competitiva, é imprescindível que alguns pontos sejam observados: genética, nutrição, manejo, sanidade, administração, biossegurança e instalações.

No acondicionamento ambiental dos suínos, existe a importância do conceito de "temperatura crítica", que marca o limite da "zona de termoneutralidade" e determina os pontos da temperatura ambiental, abaixo ou acima da quais os animais precisam ganhar ou perder calor para manter sua temperatura corporal constante. Porém, em cada fase de criação dos suínos, há uma faixa diferente de temperatura de conforto, onde não há nenhuma atividade metabólica para aquecer ou esfriar o animal.

Atualmente, um grande desafio para os pesquisadores e para o produtor de suínos, é manter a zona de termoneutralidade na fase de maternidade. Especificamente nesta fase da criação, o controle das condições ambientais é mais complexo que nas demais, considerando que é necessário, em uma mesma instalação, proporcionar diferentes micro-ambientes, específicos para as matrizes e para os leitões.

2. JUSTIFICATIVA

Um dos maiores problemas relacionados ao conforto térmico e ao bem-estar na produção suinícola encontra-se na maternidade, pois as porcas têm uma zona de conforto térmico discrepante dos leitões. O controle das condições em um pequeno espaço no qual existem dois ambientes distintos a serem avaliados, é mais complexo que nas demais fases da criação. A avaliação do microclima interno dos escamoteadores com diferentes placas de piso poderá ter influência direta no desenvolvimento dos leitões.

As cadeias produtivas agrícolas geram, em seus diversos segmentos, subprodutos que podem e devem ser reciclados. A quantidade de cama de suínos produzida no Brasil só poderá ser convenientemente reciclada, se bem manejada. Além de aplicada como fertilizante na agricultura, alternativamente, as cinzas da cama sobreposta de suínos (CCSS) podem ter uso vantajoso e recomendável como material de substituição do cimento Portland na produção de argamassas. A utilização da fibra curta de sisal em elementos construtivos auxilia na economia da construção. No processo de beneficiamento do arroz, resulta como subproduto a casca de arroz, que pode ser aproveitada como material alternativo na construção civil.

A demanda crescente por produtos de baixo impacto ambiental, durante seu processo de produção, aplicação, uso e pós-consumo, é uma meta para uma construção sustentável. No caso deste trabalho, além de reduzir o consumo de matérias primas procura-se evitar também a degradação das áreas onde estes resíduos normalmente são depositados.

A cinza de cama sobreposta de suínos pode possuir uma boa atividade pozolânica, sendo um bom substituto do cimento Portland, a fibra curta de sisal pode contribuir na capacidade de reforço do compósito e a casca de arroz incorporar ar no compósito reduzindo seu peso específico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O SUÍNO E O AMBIENTE

O ambiente dentro da instalação suinícola pode ser avaliado sob diferentes enfoques. Voermans & Monteny (1997) ressaltam a grande importância do correto dimensionamento das instalações, escolha do piso e da cobertura a serem utilizados e do controle das condições climáticas internas para o equilíbrio do binômio "saúde e doença" de animais confinados, ajudando à manter afastados, os agentes patógenos e suas rotas de infecção dentro e entre as instalações.

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 pelo animal através da radiação, da convecção, da condução, da evaporação e do calor contido nas substâncias corporais eliminadas (ESMAY, 1982). É difícil determinar qual a temperatura exata de conforto de um suíno em relação às variáveis: idade, raça, dieta, manejo e instalações, e, por isso, os estudos sempre se referem a uma zona de conforto.

O leitão, durante os primeiros dias de vida, não possui mecanismos eficientes de controle da temperatura corporal, tornando-o sensível às baixas temperaturas ambientais. Ademais, também é muito importante manter o conforto térmico para as matrizes, pois elas é que vão produzir o leite para os filhotes. A disparidade de temperatura entre as duas fases requer estudos específicos para desempenho ótimo, tanto da fêmea como dos recém-nascidos.

A Tabela 1 mostra as condições ótimas de temperatura no interior das instalações para matrizes e leitões.

Tabela 1 – Zona de termoneutralidade das matrizes e leitões até o desmame

Categoria	Temperatura Ideal (ºC)		Temperatura Crítica (ºC)		Umidade Relativa (%)
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Ótima
Matrizes	18	12	30	0	50 - 70
Leitões/nascimento	32	30	35	15	70
Leitões/1 semana	28	27	35	13	70
Leitões/2 semanas	26	25	35	13	70
Leitões/3 semanas	24	22	35	13	70

Fonte: Adaptada por Silva (1999).

Por causa das diferentes necessidades de microclima entre a matriz e o leitão, de maneira que ambos expressem seu máximo potencial produtivo, há dificuldade em controlar o ambiente dentro da maternidade. O microclima pode ser definido como uma combinação de diversos fatores: termodinâmica do ar, umidade relativa do ar, luz, som, emissão de gases, densidade animal, equipamentos e manejo (CASTRO, 2006).

Na fase de aleitamento, a eficiência da criação pode ser avaliada pela ocorrência de diarréia, pela taxa de mortalidade e pelo ganho de peso dos leitões (RUDNIK, 2003). O maior número de mortes normalmente acontece nos primeiros dias de vida, período em que se observam as mais sérias preocupações, porque um resultado econômico bom ou ruim de uma exploração suína depende do número de leitões nascidos vivos e desmamados por cada uma das matrizes. O leitão, durante os primeiros dias de vida, não possui mecanismos eficientes de controle da temperatura corporal, tornando-se sensível às temperaturas ambientais baixas.

O estresse térmico leva o leitão a apresentar queda no consumo de ração e leite, o que, muitas vezes, leva a diminuição do ganho de peso diário, a prostração e, nos casos mais graves, a morte. Para evitar o esmagamento, normalmente são utilizadas gaiolas com proteções, que limitam o espaço da fêmea e separam a área destinada aos leitões, os escamoteadores.

A forma mais utilizada para oferecer um ambiente adequado ao leitão é pelo uso de escamoteadores, que, se monitorados corretamente, tem a função de criar um microclima dentro da maternidade, para os leitões se manterem em sua zona de conforto térmico, independentemente da temperatura externa. Os escamoteadores

são abrigos vedados nas três laterais, cobertos e aquecidos por meio de lâmpadas ou resistência elétrica.

As vantagens dos escamoteadores são muitas, dentre elas: proteção contra correntes de ar diretamente nos leitões; diminuição de esmagamentos; concentração do aquecimento para os filhotes, sem afetar o ambiente da fêmea, e diminuição na mortalidade de leitões (EIRICH, 2006).

3.1.1 Índices de conforto térmico

Com o objetivo de determinar níveis de conforto térmico para os animais em relação às condições ambientais, diversos índices foram e são desenvolvidos. Segundo Moura & Nääs (1993) *apud* Pereira (2007), os índices de conforto térmico apresentam, em uma única variável, tanto os fatores que caracterizam o ambiente térmico que circunda o animal, como o estresse que tal ambiente pode exercer sobre ele.

3.1.1.1 Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU)

O ambiente térmico representado pela temperatura, umidade relativa e velocidade do ar e radiação, representados pelo índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), afeta diretamente os animais (SARTOR et al., 2003). Esse índice foi desenvolvido com base no índice de temperatura e umidade, mas usando a temperatura de globo negro no lugar da temperatura de bulbo seco.

Os valores do ITGU atingem o máximo entre as 12 e 14 h (período mais quente do dia) devido à elevação da temperatura da vizinhança ao globo negro, principalmente pelas temperaturas do solo aquecido e superfície inferior da cobertura, que se elevam com o aumento da irradiação solar global (Rosa, 1984 apud Pereira, 2007). Assim, o globo negro recebe mais calor do ambiente, o que acarreta elevação de sua temperatura e conseqüente acréscimo nos valores do ITGU.

Buffington et al. (1981) afirmaram que o índice mais preciso para medir o conforto térmico dos animais, é o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU).

3.1.1.2 Carga térmica radiante (CTR)

Outro indicador das condições térmicas ambientais é a carga térmica de radiação (CTR), que, em condições de regime permanente, expressa a radiação total recebida pelo globo negro proveniente do ambiente ao seu redor (ESMAY, 1982).

SILVA et al. (1990) apud Sampaio (2004) expõem que o mais importante nas instalações é diminuir o balanço de energia entre o animal e o meio, até um limite de otimização, sendo a carga térmica de radiação (CTR) um dos principais componentes do balanço energético de um animal. Sua avaliação é fundamental no estudo da definição do meio ambiente.

Em condições de regime permanente de troca de temperatura, esse índice expressa a radiação total recebida pelo globo negro e considera os efeitos da velocidade do vento e da temperatura ambiente.

3.1.1.3 Entalpia (H)

A entalpia é um índice físico que pode ser usado para correlacionar temperatura de bulbo seco e umidade relativa a um determinado ambiente, é a energia de ar úmido por unidade de massa de ar seco (kJ/kg de ar seco). Segundo Savastano Jr. et al. (1997), quanto maior a entalpia maior é o calor existente no ambiente e mais desconfortante é o dia.

3.2 CAMA SOBREPOSTA DE SUÍNOS

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 (CORRÊA, 1998). O setor suinícola brasileiro vem sofrendo severas críticas em razão da poluição, sobretudo hídrica, constatada nas regiões de maior concentração animal, colocando sob questionamento o modelo produtivo atualmente adotado (HIGARASHI , 2008). O grande desafio dos produtores de suínos é a exigência da sustentabilidade ambiental das regiões de produção intensiva. Isso por causa da pressão pela concentração em pequenas áreas de produção, e pelo aumento da produtividade, de maneira que esse aumento não afete o meio ambiente (DI CAMPOS *et al.,* 2005a).

O sistema de criação dominante nas fases de creche, crescimento e terminação é do tipo ripado total ou ripado parcial (SCOLARI, 2001). Esses 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[1] requer grandes estruturas para o armazenamento[2], para a sobrevivência das zonas de produção intensiva de suínos, devido à poluição causada no ambiente, de forma geral e específica, tornam-se necessárias formas alternativas de aproveitamento dos resíduos gerados. Alternativas que amenizem ou solucionem tais problemas vêm sendo discutidas e estudadas. 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 grande vantagem do sistema de cama sobreposta se deve ao fato de que ele constitui uma alternativa na qual as unidades de produção dispensam a necessidade de instalações destinadas ao manejo do dejeto líquido, tais como canaletas, esterqueiras e lagoas, entre outros, reduzindo os custos na construção das instalações e no transporte de dejetos. Outra importante vantagem do sistema de cama sobreposta é a redução substancial do mau odor e da proliferação de vetores nas unidades produtoras (HIGARASHI, 2005).

A produção de suínos em sistema *deep bedding* (cama sobreposta) constitui alternativa em que os dejetos sofrem compostagem "*in situ*" (OLIVEIRA, 1999; ROBIN, 1999; e NICKS, 1995) visando à redução dos riscos de poluição (ar, água e solo) e melhor valorização agronômica. Na busca por maneiras alternativas para o aproveitamento desta cama, encontra-se a possibilidade de queima.

Os principais materiais empregados como camas são: a maravalha (aparas de madeira), a palha de cereais, a serragem (partículas finas de madeira) e a casca de arroz (OLIVEIRA, 2001).

[1] Dejetos líquidos produzido pelos animais + perda de água nos bebedouros + água utilizada na limpeza + resíduo da alimentação

[2] Os órgãos de fiscalização ambiental preconizam um tempo mínimo de 120 dias de retenção.

3.2.1 Reciclagem da Cama Sobreposta

As cadeias produtivas agrícolas geram, em seus diversos segmentos, subprodutos que podem e devem ser reciclados. A quantidade de cama de suínos produzida no Brasil só poderá ser convenientemente reciclada, se bem manejada e aplicada como fertilizante na agricultura, que sempre será o principal destino da cama sobreposta de suínos. Estudos recentes têm demonstrado a grande eficiência da cama como condicionador de solo, sendo este comparado a fertilizantes químicos e dejeto líquido aplicados às culturas de milho e aveia. No entanto, como para qualquer fertilizante, é necessário se atentar para a correta aplicação desse material, considerando-se a sua composição e o tipo de solo e cultura ao qual será destinado (HIGARASHI, 2005). Pois a cama, se usada de forma intensiva, pode causar a saturação do solo.

Como sua utilização demanda áreas relativamente grandes, uma maneira de reduzir o volume desse material é a sua queima. Alternativamente, as cinzas da cama sobreposta de suínos (CCSS) poderão ter uso vantajoso e recomendável como material de substituição do cimento Portland na produção de argamassas. A utilização desse material pode contribuir para a redução da emissão de CO_2 no ar e de NH_3 no solo, reduzir custos de transporte, agregar valor ao produto final, criar mais empregos regionais e, ainda, possibilitar ao produtor de suíno ter acesso direto a um material pozolânico de alto desempenho para reduzir custos em construções (DI CAMPOS, 2005b).

Segundo Tonoli (2006), em compósitos à base de cimento Portland, a utilização de cinzas em sua composição aumenta a aderência entre a fibra e o cimento Portland, diminuindo a porosidade. Proporcionando um ambiente mais favorável, em relação à degradação de tais fibras devido à baixa na alcalinidade da mistura. Concluindo que a substituição de parte do cimento Portland por cinzas não só é vantajoso como recomendável quando utilizado como reforço de fibras vegetais na confecção de compósitos cimentícios.

3.3 A CASCA DE ARROZ

Cultivado em todo mundo, o arroz desempenha papel importante, como alimento básico da população mundial, se caracteriza por uma cultura extremamente versátil, que adapta-se a diferentes condições de solo e clima, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem, é considerada a espécie com maior potencial para aumento de produção e para o combate da fome no mundo (EMBRAPA, 2005). O volume de exportações do Brasil, no acumulado de 2009, (de março do ano passado até janeiro de 2010) totalizou 866,3 mil toneladas, base casca, apresentando crescimento de 17,4%, sobre igual período anterior (IRGA, 2010).

No Brasil o arroz é cultivado em dois ecossistemas, várzeas e terras altas. Basicamente o arroz é composto por três partes: casca, farelo e grão. A casca é utilizada como combustível, proteção de solos e abrasivo; o farelo, na produção de óleo, alimento e ração animal; e o grão é utilizado na culinária (LUCATO, 2005).

Durante o processo de beneficiamento do arroz, resulta como subproduto a casca de arroz, que representa cerca de 23% do peso do arroz. Essa casca, em decorrência de sua alta dureza, fibrosidade e natureza abrasiva, leva à obtenção de produtos de baixa propriedade nutritiva, boa resistência ao desgaste e muita cinza (FONSECA, 1999 *apud* DELLA, 2001).

A casca de arroz (CA) é um revestimento ou capa protetora formada durante o crescimento dos grãos de arroz. Removidas durante o refino do arroz, estas cascas possuem baixo valor comercial, pois o SiO_2 e as fibras contidas não possuem valor nutritivo e, por isso, não são usadas na alimentação humana ou animal (DELLA, 2001). Há alguns anos, quase todo esse material ia parar nas lavouras e fundo de rios, num descarte prejudicial e criminoso (FOLETTO, 2005). Na indústria do arroz, tem-se, como subproduto mais volumoso, as cascas, as quais poderiam ser aproveitadas de diversas maneiras. Uma das aplicações é sua queima em termoelétrica para geração de energia produzindo cinza como resíduo (FERRO, 2007).

A casca de arroz, além de se caracterizar pela pequena espessura em relação ao seu comprimento, apresenta, também, relativa uniformidade, o que lhe confere superfície mais homogênea e bordas mais densas do que o similar de madeira. Sua camada externa cerosa, chamada cutícula, a protege de doenças e da perda de água.

Uma prática, para se dar um fim ambiental aos lixões deste produto e de outras atividades econômicas, tem sido sua queima para fins de geração de energia em fornos e caldeiras de uma maneira geral. Normalmente materiais de degradação demorada são poluentes da atmosfera, ocasionam chuvas ácidas. O aproveitamento da palha de arroz "*in natura*" como material alternativo na construção civil, em substituição à areia, é empregado para moradias de baixa renda, onde propiciam construções equivalentes às construções tradicionais segundo Martinez (2003) e Oliveira (2008).

Utilizando argamassa de cimento (CP II-E-32) e casca de arroz (em sua forma natural) para confecção de blocos vazados (9 x 19 x 39 cm^3) e pisos, Beraldo e Tojal (2001) *apud* Milani (2005) verificaram que a mistura é uma boa alternativa para a fabricação de componentes construtivos que não desempenhem função estrutural e possui uma grande aplicabilidade em moradias populares. Seguindo a mesma linha de estudo, Govindarao, citado por Youngquist et al. (1996) *apud* Milani (2005), afirmou que a adição de casca de arroz em blocos de cimento melhorou as propriedades térmicas e acústicas do componente construtivo.

Jauberthie et al. (2003) *apud* Milani (2005) estudaram misturas compostas por cimento e casca de arroz concluindo que a umidade baixa levou as misturas de cimento-casca de arroz a baixos valores de resistência à compressão e altos valores de resistência à flexão, assim indicando a ação das fibras como reforço da matriz cimentante. Já as argamassas de cimento-casca de arroz na condição de umidade alta apresentaram bom desenvolvimento das reações pozolânicas, porém houve deterioração da casca de arroz.

3.3.1 A Cinza de Casca de Arroz

Segundo Santos (1997), grande parte da casca de arroz é reaproveitada dentro da própria usina de beneficiamento do arroz onde, a partir da sua combustão, é gerado calor para a parboilização dos grãos. Como resíduo desta combustão, é produzida a cinza de casca de arroz (CCA). Esta cinza, até então utilizada somente para estabilização de solos (ainda sem comprovação técnica) e aterros sanitários, devido ao seu elevado teor de óxido de silício, para o autor é possível sua utilização na produção de cimento Portland na forma de agregado em argamassas e concretos.

Santos (1997), afirma que a casca de arroz queimada parcialmente gera uma cinza com teor de carbono mais elevado e, em conseqüência, de coloração preta; quando inteiramente queimada, resulta em uma cinza de cor acinzentada, branca ou púrpura, cuja cor é fortemente dependente das impurezas presentes e das condições de queima.

Quando adequadamente queimada, a casca de arroz pode se tornar uma importante pozolana a ser adicionada em argamassas. Um fator que viabiliza o seu emprego, é que cerca de 10 milhões de toneladas de arroz que o país produz por ano, sobram dois milhões de toneladas de casca – que podem render cerca de 400 mil toneladas de cinza (SILVA, 2007).

Conforme Metha (1992) *apud* Prudêncio Jr. (2003) vários outros pesquisadores relatam experiências com queima da casca de arroz, e quase todos concluem que ela deve ser queimada em temperaturas baixas, entre 500 e 800℃, dependendo do pesquisador, para que a cinza resultante tenha boa atividade pozolânica. Segundo esses relatos, a queima em temperaturas mais elevadas causa a cristalização das cinzas e, conseqüentemente, a diminuição da sua reatividade.

A sílica oriunda da casca de arroz a partir de certas temperaturas se torna cristalina. Segundo os estudos feitos por Nair *et al.* (2006) até 700℃ na temperatura no incinerador a sílica se encontra em estado amorfo e a sílica cristalina aumenta com o tempo de queima, contudo a variação no índice de amorfismo pode ser devido à duração da queima e do fluxo de oxigênio, assim como a variação da

quantidade de carbono presente, que é prejudicial no parâmetro resistência compressão.

A CCA constituída essencialmente de sílica pura na forma não cristalina e com diâmetro médio das partículas inferior a 0,1 µm é uma pozolana altamente reativa segundo classificação proposta por Metha (1990) *apud* Santos (2006). A produção de CCA com elevada pozolanicidade possibilita sua utilização no lugar da sílica ativa no concreto de alto desempenho. A norma americana ASTM C 989 classifica a cinza de casca de arroz, produzida em condições especiais, como pozolana de alta reatividade, juntamente com a sílica ativa.

Realizando a queima em condições ideais de calcinação em laboratório nas temperaturas de 400, 500 e 600℃ de cama sobreposta de suínos, Pérez et al. (2005) encontraram o melhor resultado com cinzas queimadas a 600℃, e Di Campos (2005a) ao trabalhar com o mesmo material à medida que aumentou a temperatura de queima obteve cinzas cor de barro (telha).

O ambiente de combustão afeta também a área de superfície especifica, de modo que o tempo, a temperatura e o ambiente podem interferir na máxima reação pozolânica das CCA (NAIR *et al*., 2006).

3.4 FIBRAS NATURAIS

As fibras vegetais são disponíveis em várias partes do mundo, principalmente em países tropicais e equatoriais, pela tradição de cultivo de plantas fibrosas. Sendo recursos facilmente renováveis, essas culturas costumam ser bem adaptadas a condições ecológicas adversas, que seriam impeditivas a outros cultivos. Componentes construtivos produzidos com esses materiais podem se apresentar como alternativa, em sistemas construtivos econômicos (SALES, 2003)

Agopyan (1991) *apud* Savastano (2000), em seu abrangente trabalho a respeito do emprego de fibras vegetais como reforço de matrizes frágeis, relacionou 19 fibras potencialmente úteis para a construção civil. A partir de propriedades

mecânicas (resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura), características físicas, relação entre comprimento e diâmetro, possibilidade de cultivo no Brasil, custo e durabilidade no ambiente natural.

As principais finalidades de se reforçar matrizes frágeis com fibras estão ligadas ao aumento da resistência à tração, flexão e ao impacto, prevenir ou retardar o aparecimento de fissuras, diminuindo a abertura das mesmas, e conferir maior capacidade de absorção de energia antes da ruptura (ANJOS, 2003).

Nos últimos anos, tem se observado, em todo o mundo, um grande interesse na aplicação de materiais compósitos, com matrizes a base de cimento Portland, reforçados com fibras vegetais tais como sisal, juta, fibra de coco, fibra de bambu e celulose. Essas fibras têm sido consideradas potencialmente atrativas como reforço de matrizes à base de cimento Portland, em razão da sua disponibilidade, baixo custo e do baixo consumo de energia gasto na sua produção (TOLEDO FILHO, 1999).

Considerando-se que a infra-estrutura rural brasileira, em especial da região Nordeste, é insuficiente e inadequada para atender às necessidades das suas populações, no que se refere a obras de apoio à produção agrícola, habitação, saneamento, educação e lazer, o uso de fibras naturais na produção de elementos de cobertura e revestimento, painéis divisórios e outros componentes habitacionais pode contribuir para o estabelecimento dessa infra-estrutura (TOLEDO FILHO, 1997).

Pesquisas com métodos científicos avançados podem ajudar na avaliação das propriedades de engenharia desses materiais locais, adaptando-os para que se tornem materiais de construção econômicos e duráveis (TOLEDO FILHO, 1997).

Segundo Savastano Jr. *et al.* (1997), a principal vantagem do uso de fibras vegetais em argamassas cimentícias é a elevada capacidade de absorção de energia em decorrência do baixo módulo de elasticidade dessas fibras naturais. Outra vantagem é que, uma vez adicionadas às argamassas, as fibras vegetais introduzem porosidade, o que pode auxiliar no aumento do isolamento térmico do componente construtivo.

O tipo, a distribuição, a relação comprimento-diâmetro, a durabilidade da fibra e a umidade, assim como o seu grau de aderência com a matriz determinam o

comportamento mecânico do compósito e o desempenho do componente fabricado (TONOLI, 2006).

3.4.1 A Fibra de Sisal

O sisal é originário de Yucatan (México) e seu nome popular provém de uma erva nativa denominada *zizal-xiu* (MEDINA, 1959) *apud* Megiatto Jr. (2006). Quanto sua classificação botânica, o sisal pertence à classe Monocotiledône, série Liliflorea, família *Agavacea*, subfamília *Agavoidea*, gênero *Agave*, espécie *Agave sisalana*. O sisal foi plantado no Brasil em 1903 no estado da Bahia, atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de fibras de sisal, sendo a Bahia e a Paraíba os principais estados produtores (MEGIATTO Jr., 2006).

Para Amico (1991) e Frollini (2001) *apud* Angrizani (2006), dentre as vantagens do sisal podemos apontar a facilidade de modificação superficial, característica das fibras vegetais, sua abundância no Brasil, facilidade de cultivo, o fato de ser um material biodegradável que provem de fonte renovável, além de apresentar boas propriedades como isolante térmico e acústico.

Conhecida por sua grande resistência mecânica, a fibra de sisal está entre as mais investigadas como reforço de materiais compósitos, sendo disponível a um custo razoável, pois a planta cresce em vários ambientes tropicais e renova-se rapidamente. As fibras são extraídas das folhas, que têm dimensões entre 6 e 10 cm de largura e entre 50 e 250 cm de comprimento (SALES, 2003).

Ghavami *et al.* (1999) citam a classificação adotada pelos produtores de fibras da região Nordeste do Brasil, que as dividem de acordo com o comprimento em fibras curtas, menores que 600 mm, médias, entre 600 e 700 mm e longas, maiores que 700 mm. O tipo, a distribuição, a relação comprimento-diâmetro e a durabilidade das fibras, assim como o grau de aderência fibra-matriz, determinam o

comportamento mecânico dos compósitos (GRAY e JOHNSTON, 1984) *apud* Anjos (2003).

As propriedades de compósitos reforçados por fibras vegetais dependem de fatores como adesão fibra/matriz, fração volumétrica de fibra e orientação, entre as mais importantes (AZIZI *et al*., 2004) *apud* Angrizani (2006).

O cimento Portland como matriz no compósito é um material de construção durável, barato e dotado de adequada resistência à compressão e rigidez, entretanto, apresenta ruptura frágil, baixa resistência à tração e pequena capacidade de deformação. Uma maneira eficiente de conferir a essas argamassas maior resistência à tração, ao impacto e à fadiga, além de tenacidade e ductilidade, é a adição de fibras curtas à mistura segundo Tezuka (2001) *apud* Ventura (2006).

3.5 CIMENTO PORTLAND

3.5.1 Origem do cimento Portland

O cimento Portland, misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, o pó-de-pedra, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc. As características e propriedades desses concretos e argamassas vão depender da qualidade e proporções dos materiais com que são compostos. Dentre eles, entretanto, o cimento Portland é o mais ativo, do ponto de vista químico (ABCP, 2002).

Há tempos havia no Brasil, praticamente, um único tipo de cimento Portland. Com a evolução dos conhecimentos técnicos sobre o assunto, foram sendo fabricados novos tipos. A maioria dos tipos de cimento Portland hoje existente no

mercado, serve para o uso geral. Algum deles, entretanto, tem certas características e propriedades que os tornam mais adequados para determinados usos, permitindo que se obtenha um concreto ou uma argamassa com a resistência e durabilidade desejadas, de forma bem econômica (ABCP, 2002).

3.5.2 Composição do Cimento Portland

Uma das melhores maneiras de conhecer as características e propriedades dos diversos tipos de cimento Portland é estudar sua composição. O cimento Portland é composto de *clínquer* e de *adições.* O *clínquer* é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland, tendo como matérias-primas o calcário e a argila. As adições podem variar de um tipo de cimento Portland para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento Portland. São outras matérias-primas que, misturadas ao *clínquer* na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland hoje disponíveis no mercado. Essas outras matérias-primas são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos (ABCP, 2002).

3.5.3 Cimento Portland comum e cimento Portland de alta resistência Inicial

Existem no Brasil vários tipos de cimento Portland, diferentes entre si, principalmente em função de sua composição. O primeiro cimento Portland lançado no mercado brasileiro foi o conhecido CP, correspondendo atualmente ao CP I, um tipo de cimento Portland comum sem quaisquer adições além do gesso (utilizado como retardador da pega). Ele acabou sendo considerado na maioria das aplicações

usuais como termo de referência para comparação com as características e propriedades dos tipos de cimento Portland posteriormente aparecidos.

Foi a partir do amplo domínio científico e tecnológico sobre o cimento Portland comum que se desenvolveram outros tipos de cimento Portland, com o objetivo inicial de atender a casos especiais (ABCP, 2002). O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) embora contemplado pela ABNT (NBR 5733) como norma separada do cimento Portland comum, é na verdade um tipo particular deste, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação.

O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do *clínquer*, bem como pela moagem mais fina do cimento Portland, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (ABCP, 2002).

Os vários tipos de cimento Portland normalizados são designados pela sigla e pela classe de resistência. As siglas correspondem ao prefixo CP acrescido dos algarismos romanos de I a V, conforme o tipo do cimento Portland, sendo as classes indicadas pelos números 25, 32 e 40. As classes de resistência apontam os valores mínimos de resistência à compressão, garantidos pelo fabricante, após 28 dias de cura (ABCP, 2002).

3.5.4 Cimento Portland e o meio ambiente

A indústria do cimento Portland responde por cerca de 7% da emissão anual de gás carbônico (CO_2) na atmosfera. Na produção de cada tonelada de cimento Portland, são lançadas 0,6 tonelada de CO_2 no ar. Somente o Brasil, com uma produção anual de 38 milhões de toneladas de cimento Portland (comum), libera para a atmosfera aproximadamente 22,8 milhões de toneladas/ano de gás carbônico

(RADICCHI, 2002). Só esse quadro já basta como justificativa para a pesquisa sobre materiais cimentícios para desenvolvimento sustentável.

A maior experiência brasileira, na área de reciclagem de produtos gerados por outras indústrias na produção de materiais de construção civil é a conduzida pela indústria cimenteira, que recicla principalmente escórias básicas de alto forno e cinzas volantes (ÂNGULO, 2001)).

A demanda crescente por produtos de baixo impacto ambiental, durante seu processo de produção, aplicação, uso e pós-consumo, aliada à redução de consumo de materiais primários, tem se estabelecido como meta para uma construção sustentável. Dentro disto, pesquisas visando o reaproveitamento de subprodutos industriais tornam-se cada vez mais necessárias, sobretudo no aspecto ambiental. Neste caso, além de visarem à redução do consumo de matérias primas evitam também a degradação das áreas onde estes resíduos normalmente são depositados (LUZ, 2005).

Diante disto, a valorização de subprodutos industriais como matéria prima alternativa para a obtenção de produtos da construção civil vem a cada ano ganhando mais importância no aspecto ambiental e incorporando novos desafios tecnológicos. Desta forma, além de evitar a degradação das áreas onde estes resíduos normalmente são depositados, a valorização dos subprodutos tem por efeito a redução do consumo de matérias primas virgens (LUZ, 2005).

3.5.5 Adições minerais do cimento Portland

Com a constante evolução da indústria, torna-se cada vez mais necessária a busca de meios tecnológicos que tragam melhorias à relação custo/benefício dos materiais produzidos. O uso de matérias-primas alternativas, mudanças nos

processos industriais, bem como a adequação das propriedades às condições de serviço, são pontos de extrema importância.

Neville (1992) *apud* Rêgo *et al.* (2006) salienta que o cimento Portland é um material muito caro, e que, portanto, no futuro, devem ser empregados, cada vez mais, materiais alternativos adicionados ao cimento Portland, como a escória, a cinza volante, a cinza de casca de arroz (CCA) e a sílica ativa, bem como suas combinações.

A utilização de pozolanas nos concretos de cimento Portland, tem apresentado inúmeros benefícios às suas propriedades, tanto em relação à reologia no estado fresco quanto ao comportamento mecânico e de durabilidade no estado endurecido.

Além disso, a substituição parcial do cimento por pozolana implica na economia de energia e na redução do custo de fabricação do cimento. Isto aumenta o período de exploração das jazidas de calcário e argila e, conseqüentemente, o período de produção da fábrica de cimento. Além disso, há um aumento da capacidade de produção sem necessidade de novos investimentos (MANTUANO NETTO, 2006).

Essas matérias-primas são adições diferentes das do clínquer, são compostos misturados durante a moagem do mesmo e que vão caracterizando diferentes tipos de cimento Portland produzidos. As matérias primas das adições podem ser: gesso, escória de alto-forno, materiais carbonáticos e materiais pozolânicos (ABCP, 2002).

Os materiais pozolânicos são originados de matéria orgânica fossilizadas na natureza, rochas vulcânicas, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas e também derivados da queima de carvão mineral nas usinas termelétricas, entre outros. Segundo ABCP (2002), várias pesquisas atuais levaram à descoberta que esse tipo de material quando em partículas muito finas apresentam propriedade de ligante hidráulico. A cinza de casca de arroz (CCA) e a sílica ativa (pó advindo das chaminés das fundições de ferro silício) são exemplos de pozolanas.

De acordo com Libório (2002), dentre as matérias-primas mais utilizadas na confecção de concretos de elevado desempenho, estão: sílica ativa, cinza volante,

escória granulada de alto forno, cinza da casca do arroz, terras diatomáceas, metacaulinitas e filler de calcário.

Mesa Valenciano (1999) estudou o emprego de cinzas de bagaço de cana-de-acúcar na produção de argamassas e estabilização do solo. A substituição do cimento Portland pela cinza de bagaço-de-cana provocou uma acentuada redução da resistência à compressão, esse decréscimo da resistência é provavelmente devido a baixa atividade pozolânica associada à baixa superfície específica, embora não tenham sido realizados ensaios para medir a atividade pozolânica da cinza.

Um substrato utilizado para a cama é a casca de arroz, material muito rico em sílica, e cuja calcinação pode transformar essa sílica em material amorfo, podendo ser aproveitado como material de substituição parcial do cimento Portland. Atualmente a casca de arroz está sendo utilizada na fabricação de blocos e painéis empregados na construção civil, onde substitui a fibra de madeira comumente utilizada.

Como material adicionado conjuntamente ao cimento Portland, muitas propriedades únicas apresentadas pela cinza de casca de arroz têm sido reportadas por diversos pesquisadores. Com o concreto fresco, adições de misturas pozolânicas, tais como a CCA, têm a capacidade de reduzir a segregação e a exudação, e isto acarreta em grande melhoria da trabalhabilidade.

Exceto a cinza de casca de arroz, nenhum outro material pozolânico, incluindo-se a sílica ativa, tem a habilidade de contribuir para o aumento na resistência mecânica do concreto em baixas idades, como 1 e 3 dias. Isto abre as portas para o uso de misturas de cinza volante e outras pozolanas normais com a CCA, com a última agindo como acelerador de resistência Mehta (1992) *apud* Dafico (2009).

A cinza de casca de arroz como adição ou substituição do cimento Portland no concreto, contribui para o desenvolvimento sustentável, pois aumenta o desempenho do composto, reutiliza um recurso já explorado e conduz a uma diminuição do consumo de cimento, cuja produção cria sérios problemas ambientais.

Di Campos (2005b) estudou “cama sobreposta” à base de casca de arroz, como material alternativo para construções procurando identificar a potencialidade do uso das cinzas resultantes da queima desse resíduo como adição mineral para

substituição parcial do cimento Portland comercial em materiais à base de cimento Portland. As cinzas foram queimadas em diferentes temperaturas (400, 500, 600°C) e testaram-se três teores de substituição, 10, 20 e 30% em massa, concluindo que a melhor temperatura de queima e o melhor teor de substituição do cimento Portland pelas cinzas foram respectivamente, 600°C e 30% em relação à massa de cimento Portland utilizada.

Substâncias adicionadas ao cimento Portland, podem melhorar certas características do concreto, além de preservar o ambiente ao aproveitar os resíduos e diminuir a extração de matéria-prima (ABCP, 2005).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o desenvolvimento dos vários tipos de cimento Portland, com o uso de adições como escórias e pozolanas, melhoraram certas características do material. Sendo estas a impermeabilidade, diminuição da porosidade capilar, maior resistência a sulfatos e redução do calor de hidratação.

As adições contribuem para diminuir o consumo de energia durante o processo de fabricação e para aproveitar subprodutos poluidores, como as escórias de alto-forno e as cinzas volantes, por exemplo.

Do ponto de vista ecológico, além da preservação das jazidas de calcário, o ponto forte é o aproveitamento de resíduos poluidores, como é o caso da escória granulada de alto-forno. Já as pozolanas, que podem ser cinza volante, argilas calcinadas, diatomitos, rochas vulcânicas, sílica ativa (contida na casca de arroz), têm a vantagem de promover a diluição do aluminato cálcico (C_3A), componente do clínquer que é o principal responsável pelo calor de hidratação, e combinar com a cal gerada pela hidratação do cimento Portland, diminuindo a permeabilidade do concreto e aumentando sua resistência aos ataques químicos (ABCP, 2005).

As indústrias de cimento Portland 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 (HEINRIKS, 2000).

3.6 COMENTÁRIOS ADICIONAIS

A utilização de materiais alternativos, como os resíduos a serem estudados neste trabalho pode contribuir no sentido de baratear os custos envolvidos nas construções, possibilitando a inserção de tecnologias apropriadas, a obtenção de um produto menos poluente que os convencionais, de baixo consumo energético, gerando processos de reaproveitamento de resíduos agroindustriais e suprindo as necessidades construtivas de instalações de menor custo para as propriedades rurais.

4. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar o microclima interno de escamoteadores com diferentes formulações de placas cimentícias para o piso, aquecido com resistência elétrica. As placas de argamassa de cimento Portland tiveram por base o aproveitamento de resíduos agropecuários (cama sobreposta de suíno, fibra curta de sisal e casca de arroz) na sua confecção, em busca da melhoria nas propriedades físicas e mecânicas.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as diferentes placas por meio de ensaios físicos e mecânicos;
- Avaliar a influência dos diferentes tipos de piso no conforto térmico da instalação;
- Validar a utilização de CCSS, fibra curta de sisal e casca de arroz para produção de placas de escamoteadores;
- Identificar a melhor adição testada para condições usuais de emprego em maternidades suinícolas.

5. HIPÓTESE

A utilização da cinza de cama sobreposta de suínos, fibra curta de sisal e casca de arroz como elemento construtivo, pode beneficiar na obtenção e manutenção do microclima interno adequado para abrigos escamoteadores com aquecimento por resistência elétrica.

6. MATERIAL E MÉTODOS

A seguir, serão apresentados os materiais que foram utilizados no presente trabalho, além de detalhar os procedimentos adotados para a realização dos diferentes ensaios.

6.1 OBTENÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

6.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado é o CP V-ARI, da marca Cauê, embalado em sacos de papel “Kraft” de 50 kg, produzido de acordo com as especificações técnicas da norma NBR 5733 da ABNT (1991). O cimento Portland foi adquirido e acondicionado em sacos plásticos, para evitar hidratação pela ação da umidade do ar.

6.1.2 Areia

A areia utilizada é proveniente de comércio de construção civil. Esta foi peneirada de acordo com a NBR 7214 (1982), areia para ensaio de cimento

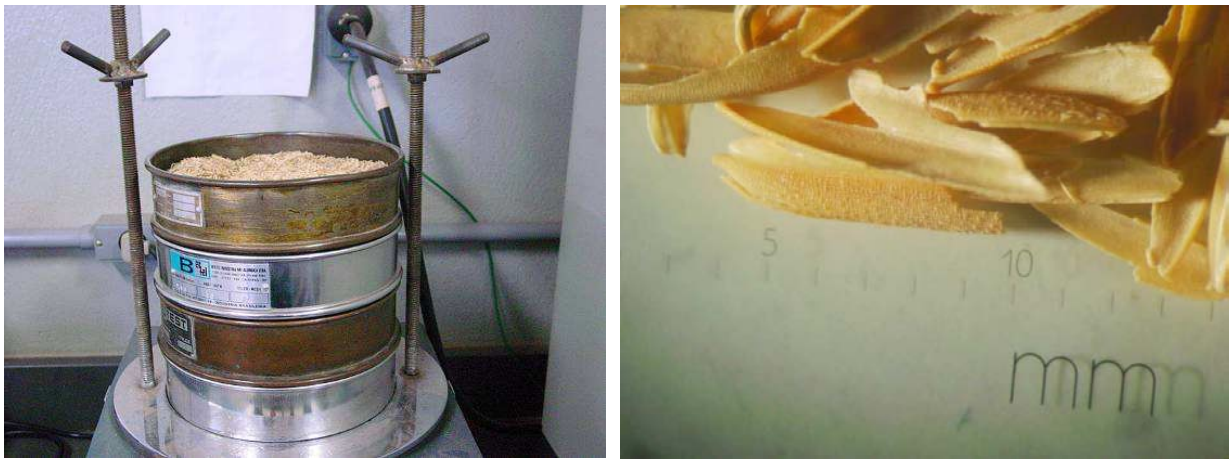
Portland. Optou-se pela utilização da areia média grossa, passante à peneira de número 16.

6.1.3 Casca de Arroz

A casca de arroz (CA) adquirida para a viabilização deste projeto é proveniente do Rio Grande do Sul, sendo sua variedade a Agulhinha IAC 202, e o tipo de plantio várzea/alagamento, sua aquisição se deu por intermédio da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) - Pólo Sudoeste Paulista, Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Itapeva.

A CA utilizada no ensaio preliminar foi inicialmente moída em jarro de porcelana com volume de 7,5 L, com velocidade 200 rpm (como indicado no display do equipamento), em moinho rotativo de bolas (24-26 mm de diâmetro), da marca Tecnal, modelo TE- 500/2. O tempo de moagem foi de 240 min.

Posteriormente foi peneirada, em agitador de peneira (Figura 1a) de forma a adquirir um melhor empacotamento, optou-se de acordo com experiência anterior do Grupo de Construções e Ambiência FZEA/USP, a utilização da casa retida (Figura 1 b) na peneira de número16 (N16), abertura de 0,19 mm (NBR 7214, 1982).



(a) (b)

Figura 1 – (a) Casca de arroz no agitador de peneiras; (b) casca de arroz retida na peneira N16.

6.1.3.1 Cinza da Casca de Arroz

Foi realizada a queima da CA, para a obtenção da cinza (CCA), de maneira a realizar ensaios de caracterização para verificar quais alterações ocorrem nesta matéria quando comparada às cinzas da cama sobreposta de suínos (CCSS), sabido que esta possui fezes, resto de ração e outros componentes que influenciam na atividade pozolânica do resíduo.

Amostras da CA sofreram queima em mufla, marca Jung, modelo 10010, com rampa de aquecimento de 5°C/min, com três horas de permanência em 600℃, temperatura escolhida. O resfriamento foi realizado sem controle e gradativamente.

Após o processo de queima da CA, as cinzas foram moídas em jarro de porcelana com volume de 7,5 l, com velocidade 7 (como indicado no display do equipamento), em moinho rotativo de bolas (Figura 2), da marca Tecnal, modelo TE-500/2. O tempo de moagem foi de 240 min. Esta metodologia foi desenvolvida e baseada nos artigos de Cordeiro *et. Al.* (2006) e Rego *et. Al.* (2006).

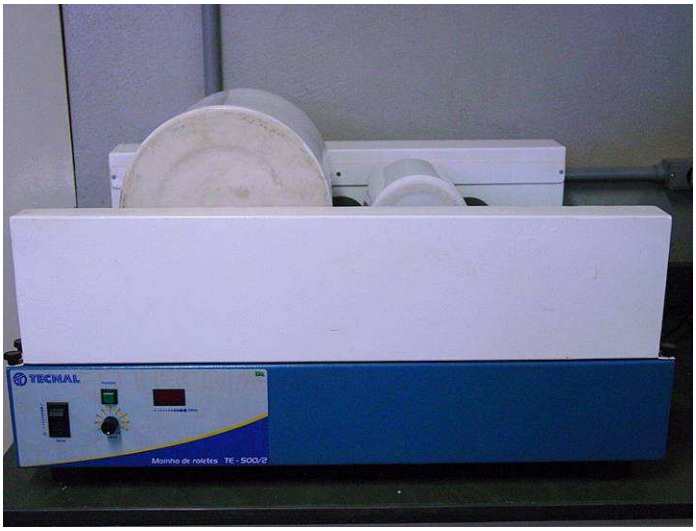
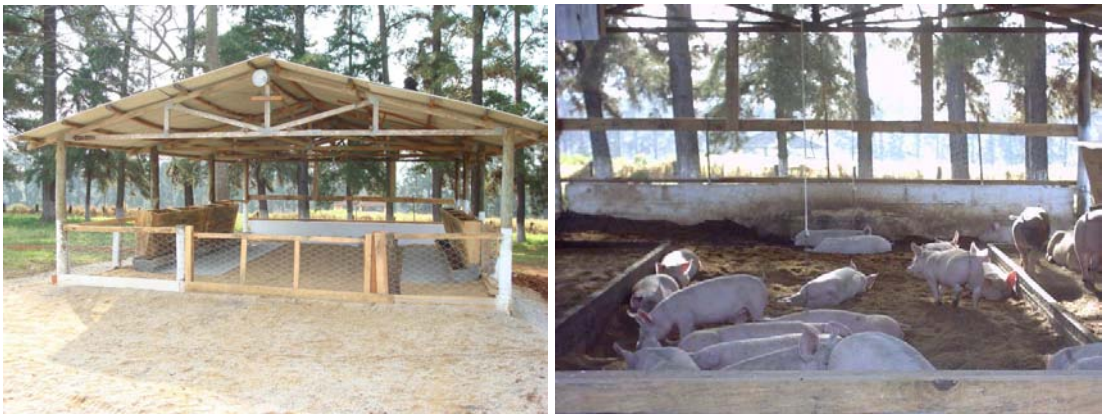


Figura 2 – Moinho rotativo de bolas.

6.1.4 Cama Sobreposta de Suínos

A cama sobreposta de suínos (CSS) adquirida para a viabilização deste projeto é proveniente da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) – Pólo Sudoeste Paulista, Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Itapeva (Figura 3), resultado da terminação de suínos em cama tendo como base a casca de arroz (CA). Foram coletadas amostras da cama em pontos aleatórios, estas foram homogeneizadas e devidamente embaladas.



(a) (b)

Figura 3 – (a) Vista da instalação APTA/Itapeva; (b) Animais na instalação, sistema com cama sobreposta

A CSS foi inicialmente queimada em mufla, marca Jung, modelo 10010, com rampa de aquecimento de 5°C/min, com três horas de permanência em 600℃, temperatura escolhida. O resfriamento foi realizado sem controle e gradativamente. Após o processo de queima da CSS, as cinzas foram moídas em jarro de porcelana com volume de 7,5 L, com velocidade 200 rpm (como indicado no display do equipamento), em moinho rotativo de bolas (24-26 mm de diâmetro), da marca Tecnal, modelo TE- 500/2. O tempo de moagem foi de 240 min. Esta metodologia foi desenvolvida e baseada no trabalho de Di Campos (2005b).

6.1.5 Fibra de Sisal

A fibra curta de sisal (*Agave sisalana*) adquirida para a viabilização deste projeto é proveniente de Valente – BA, sua aquisição se deu pela Associação de Desenvolvimento Sustentável e Solidário da Região Sisaleira (APAEB). Esta fibra é residual, bucha de campo e fibra curta da rasadeira. A fibra foi separada e cortada em moinho de facas modelo JF-5 (J. F. Máquinas Agrícolas Ltda.), na potência

(4000/4200 rpm), com o objetivo de homogeneizar as dimensões em 4 mm de comprimento (Figura 4).

Figura 4 – Fibra curta de Sisal após corte no moinho de facas.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

6.2.1 Análise Bromatológica

Foi feita a análise Bromatológica da casca de arroz (CA) e da cama sobreposta de suínos (CSS), no Laboratório de Bromatologia da FZEA/USP, para determinação da composição do material estudado (SILVA; QUEIROZ, 2002). As análises foram: matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE) e extrativo não nitrogenado (ENN).

6.2.2 Caracterização química

A análise química é uma técnica destinada a proporcionar o conhecimento da composição química de uma substância ou de uma mistura de substâncias (WARNER, 1989). Também representa uma das análises mais importantes para se obter e manter um alto nível de qualidade no ciclo produtivo, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas e tecnológicas (SOUZA, 2007).

As amostras de cinza de casca de arroz (CCA), cimento Portland e da cinza da cama sobreposta de suínos (CCSS) foram submetidas à análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X e perda ao fogo, no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da Escola Politécnica da USP (POLI/USP). A perda ao fogo fornece informações sobre a quantidade de água de constituição e/ou matéria orgânica e inorgânica existente no material analisado (MOREIRA et al. 2001).

6.2.3 Determinação da atividade pozolânica pelo método da condutividade elétrica

O ensaio de condutividade elétrica foi usado para verificar a atividade pozolânica da CCA. Rassk e Bhaskar (1975) apud Villar-Cociña et al. (2003), foram os primeiros a projetar este método para avaliar a atividade pozolânica. Foi utilizado um condutivímetro da marca Digimed, modelo DM-32, no Laboratório de Construções e Ambiência FZEA/USP. A faixa de medição da célula de condutividade é de 0,01 µS/cm a 10 mS/cm. Esta metodologia consiste em medir a condutividade elétrica da solução saturada de hidróxido de cálcio (P.A. – A.C.S, da Synth). As

cinzas de casca de arroz, ou melhor, as fases presentes com atividade pozolânica reagirão com o hidróxido de cálcio, o que conduz à diminuição na concentração de Ca^{2+} (NAIR, 2006), a 20ºC, em continua agitação.

Neste trabalho, o tempo de duração do ensaio foi de três dias, a fim de se observar a estabilidade do valor da condutividade elétrica na solução. A solução foi preparada usando 100 mL de água deionizada e com uma quantidade de hidróxido de cálcio suficiente para saturá-la. Na solução, foi adicionado 1 g de cinzas de casca de arroz. O procedimento foi adotado por comunicação pessoal com o Prof. Eduardo Valencia-Morales, Doutor em Ciências Físicas, professor da Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

6.2.4 Difração de raios-X

Foi realizada difração de raios-X na amostra de CCA e de CCSS. A análise foi efetuada mediante o emprego de difratômetro de raios-X, marca Philips, modelo MDP 1880. A identificação das fases foi feita por comparação do difratograma da amostra com bancos de dados PDF2 do ICCD – International Centre for Difrfraction Data (2003) e do PAN-ICSD- PANanalytical Inorganic Crysral Structure Database (2007), no LCT POLI/USP.

6.2.5 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é utilizada para análise da morfologia das partículas, existência de porosidade e estruturas originalmente dos

vegetais, avaliação da distribuição granulométrica das partículas, e permite 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. O ensaio foi realizado em amostras de CA, CCA, CCSS e fibra de sisal. Também foi realizada análise de espectroscopia por energia dispersiva (EDS) em alguns pontos da amostra de CCSS.O microscópio eletrônico de varredura utilizado é do Modelo Quanta 600 FEG.

6.2.6 Massa específica

A massa específica 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. Neste projeto, a massa específica foi determinada em multipicnômetro a hélio, marca Quantachrome, Ultrapycnometer 1000, para análise de densidade de amostra da CA, da CCA, da CCSS, do cimento Portland e da areia, no Laboratório de Construções e Ambiência FZEA/USP.

6.2.7 Distribuição granulométrica

Os ensaios de distribuição granulométrica da CCA, da CCSS, do cimento Portland e da areia, foram feitos a partir da determinação do diâmetro equivalente das partículas por espalhamento laser de baixo ângulo utilizando o equipamento Malvern, modelo MMS Mastersizer. Os ensaios foram realizados no LCT POLI/USP.

6.2.8 Caracterização da fibra de sisal

A caracterização das fibras curtas de sisal foi feita por meio de mensurações do comprimento e do diâmetro utilizando o estereoscópio, da marca Zeiss,modelo Stemi 2000. O aumento da lente ocular foi de 1x.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

6.3.1 Ensaio preliminar: estudo da influencia do teor de casca no comportamento do compósito

Para se determinar a porcentagem de substituição da areia pela casca de arroz (CA) na confecção de placas para ensaios físicos e mecânicos. Foram

realizados ensaios físicos e mecânicos preliminares com a preparação de argamassas com taxa de substituição de 0 (referência), 3, 4 e 5% em massa de areia por casca de arroz, respectivamente, formulações F1, F2, F3 e F4. Para determinação das taxas a serem estudadas, utilizaram-se como referência, estudos anteriores realizados pelo Grupo de Construções e Ambiência FZEA/USP e também em artigos científicos de Ferreira (2008), Souza (2007), Trojal (2002) e Zucco (1999). As formulações das placas estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Formulações dos compósitos cimentícios

Matéria prima	F1	F2	F3	F4
	(% massa)			
CP V-ARI	25	25	25	25
Areia	75	72	71	70
Casca de arroz	-	3	4	5

Relação água/cimento 0,6.

A mistura foi feita em argamassadeira planetária, com cuba de capacidade de 5 L, modelo AG 5, marca Metal Cairo; à velocidade baixa 62 (±5 rpm). Inicialmente colocou-se o cimento Portland e a areia para misturar durante 5 min, posteriormente foi adicionada a medida de água aos poucos até homogeneização da massa. Nos tratamentos com a CA, esta foi adicionada aos poucos após a água e por fim a massa ficou misturando também por 5 min.

Para a confecção das placas a argamassa foi vertida em uma moldura de madeira quadrada sobre uma placa metálica que, por sua vez, estava sobre a mesa vibratória de superfície plana, acionada por motor de 3 kW e com freqüência de vibração igual a 2200 rpm.

O adensamento por vibração durou 4 min. Após a moldagem, a placa foi colocada em uma bandeja completamente vedada com plástico por dois dias. Foram confeccionadas duas placas por formulação, nas dimensões 200 mm x 200 mm x 6 mm. Para completar o processo de cura, uma placa foi imersa em água por oito dias e a outra por 26 dias de cada formulação. A cura por oito dias foi baseada na prática usualmente adotada nas indústrias de fibrocimento no Brasil.

6.3.2 Confecção dos compósitos

Para se determinarem os melhores tratamentos a serem utilizados para a confecção das placas finais para estudo no piso escamoteador, foram feitos ensaios com a preparação de argamassas com 6 formulações. Para determinação das taxas a serem estudadas, utilizou-se como referência, estudos preliminares realizados pelo Grupo de Construções e Ambiência da FZEA-USP e o resultado obtido pelo ensaio preliminar neste estudo. As formulações das placas estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Formulações dos compósitos cimentícios

Matéria prima	C1	C2	C3	C4	C5	C6
			(% massa)			
CP V-ARI	25	17,5	17,5	17,5	25	25
Areia	75	75	73,3	71	71	73,3
Casca de Arroz	---	---	---	4,0	4,0	---
Cinza de Cama Sobreposta de Suínos	---	7,5	7,5	7,5	---	---
Fibra de Sisal	---	---	1,7	---	---	1,7

Relação água/cimento 0,6.

Onde:

- A fibra curta de sisal substitui 1,7% da massa da areia.
- A casca de arroz substitui 4% da massa da areia.
- A cinza da cama sobreposta de suínos substitui 30% da massa do cimento, ou seja, 7,5% da massa total de sólidos.

A mistura foi feita em argamassadeira planetária, com cuba de capacidade de 5 L, modelo AG 5, marca Metal Cairo à velocidade baixa 62 (±5 rpm). Inicialmente colocou-se o cimento Portland e a areia para misturar durante 5 min, posteriormente foi adicionada a medida de água aos poucos até homogeneização da massa para a C1, para C2 colocou-se a CCSS juntamente ao cimento, realizando o mesmo procedimento posterior.

Nos tratamentos com CA e SISAL (C3, C4, C5 e C6), estas foram adicionadas aos poucos após a água e por fim a massa ficou misturando também por 5 min. Na Figura 5 estão ilustradas as etapas de preparação da argamassa C5.

Figura 5 – (a) Adição da areia e do cimento Portland; (b) adição de água; (c) adição da casca de arroz ; (d) argamassa final contendo casca de arroz.

Para a confecção das placas a argamassa foi vertida em uma moldura de madeira quadrada sobre uma placa metálica que, por sua vez, estava sobre a mesa vibratória de superfície plana, acionada por motor de 3 kW e com freqüência de vibração igual a 2200 rpm.

O adensamento por vibração durou 4 min (Figura 6). Após a moldagem, a placa foi colocada em uma bandeja completamente vedada com plástico por dois dias. Foram confeccionadas duas placas por formulação, nas dimensões 200 mm x

200 mm x 6 mm. Para completar o processo de cura, uma placa foi imersa em água por oito dias e a outra por 26 dias de cada formulação.

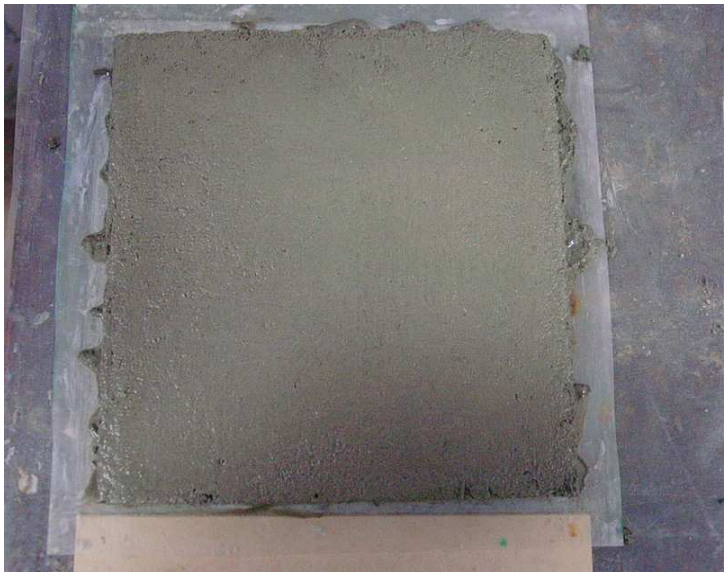
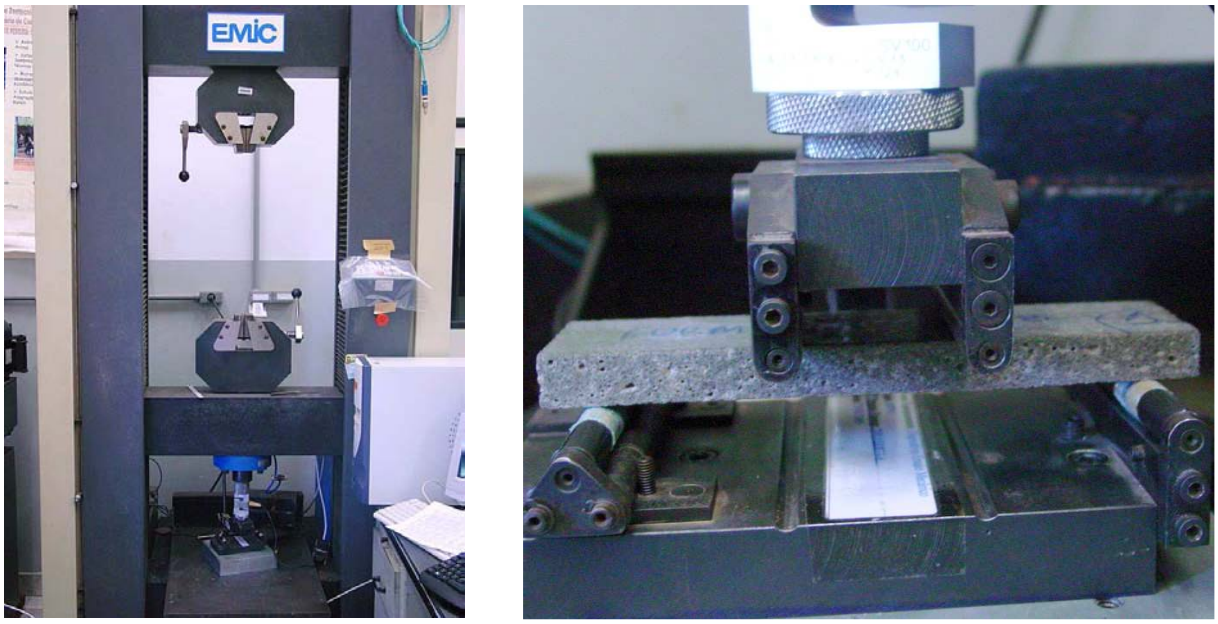


Figura 6 – Foto ilustrativa da placa moldada.

6.3.3 Caracterização física e mecânica

As placas com 10 e 28 dias de idade foram cortadas na dimensão nominal de 160 mm x 40 mm x 14 mm, e ensaiadas em condição saturada de água. Os testes mecânicos foram executados em uma máquina universal de ensaios mecânicos, marca EMIC modelo DL-30000 (Figura 7ª). O equipamento foi controlado pelo software Tesc, versão 1.13, para coleta dos dados. Foi usada a configuração de flexão a quatro pontos, com distância entre apoios inferiores igual a 135 mm e superiores igual a 45 mm, com célula de carga de 5 kN e deflectômetro para medida da flecha (Figura 7b).

As propriedades mecânicas determinadas foram módulo de ruptura (*modulus of rupture*, MOR), limite de proporcionalidade (□*imito f proporcionality,*- LOP), módulo elástico (*modulus of elasticity*, MOE) e energia específica (EE).



(a) (b)

Figura 7 – (a) Foto ilustrativa da máquina universal de ensaios mecânicos, EMIC; (b) Dispositivo de flexão a quatro pontos e a célula de carga.

Para se determinar o MOR de placas de materiais de fibrocimento, foi adotado o ensaio de flexão a quatro pontos, com barra prismática. Para o cálculo do MOR foi utilizada a equação 1:

$$MOR = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot (L_{sup} - L_{inf})}{2 \cdot b \cdot d^2} \qquad (1)$$

onde P_{max} é a carga máxima aplicada, L_{sup} e L_{inf} são as distâncias entre os apoios superiores e inferiores, respectivamente, b é a largura e d é a espessura do corpo-de-prova.

Para se obter o limite de proporcionalidade (LOP) ocupou-se a seguinte equação:

$$LOP = \frac{3 \cdot P_1 \cdot (L_{sup} - L_{inf})}{2 \cdot b \cdot d^2} \qquad (2)$$

onde P_1 é a carga máxima aplicada antes da curva sair da linearidade.

Para se obter o MOE, utiliza-se uma expressão que leva em consideração a rigidez do corpo-de-prova. No caso de materiais de fibrocimento, a partir de um ensaio de flexão a quatro pontos, utiliza-se a seguinte equação:

$$E = \left(\frac{L_{\inf}^{3}}{4 \cdot b \cdot d^{3}} \right) \cdot \delta \qquad (3)$$

onde δ é o coeficiente angular da região linear da curva carga-flecha.

Para materiais de fibrocimento, foi adotada uma grandeza que está diretamente ligada à tenacidade, denominada como energia específica (EE). A energia específica pode ser definida como a tenacidade por unidade de área. Para o cálculo de EE, calcula-se a tenacidade até a carga atingir 50% da carga máxima aplicada e divide-se pela área da seção transversal do corpo-de-prova.

Para os ensaios físicos: absorção de água aparente, densidade aparente e volume aparente; foi utilizado o método de Arquimedes, conforme a norma ABNT – Projeto 18:406.03 (Placa plana cimentícia sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio). Determinou-se a massa imersa em água dos corpos-de-prova saturados (M_I). Logo após foram secados superficialmente com um pano (para retirar o excesso de água) para determinação da massa saturada (HÁ). Em seguida os mesmos foram mantidos em uma estufa com circulação de ar a temperatura de 105℃ por 48 h para determinação da massa seca (M_S). Com base nos dados acima, o cálculo para absorção de água aparente, densidade aparente e volume aparente foram expressos pelas seguintes equações:

$$AA = \frac{(M_U - M_S).100}{M_S} \qquad (4)$$

$$DA = \frac{M_S}{M_U - M_I}.D \qquad (5)$$

$$PA = \frac{(M_U - M_S).100}{M_U - M_I} \qquad (6)$$

Onde: D = densidade do líquido (água).

6.4 PLACAS PARA O PISO DE ESCAMOTEADOR

6.4.1 Confecção das placas

A mistura foi feita em argamassadeira convencional, com cuba de capacidade de 40 kg, modelo HÁ 40, marca HYPO. Inicialmente colocou-se o cimento Portland, a CCSS e a areia para misturar durante 15 min, posteriormente foi adicionada a medida de água aos poucos até homogeneização da massa para a P1.

Para P2 (SISAL) e P3 (CA), colocou-se o cimento Portland, a CCSS e a areia para misturar durante 15 min, posteriormente foi adicionada SISAL/CA para misturar durante 5 min e após este período a água foi colocada e por fim a massa ficou misturando por 15 min. As formulações das placas estão listadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Formulações dos compósitos cimentícios

Matéria prima	P1	P2	P3
	(% massa)		
CP V-ARI	17,5	17,5	17,5
Areia	75	73,3	71
Casca de Arroz	---	---	4,0
Cinza de Cama Sobreposta de Suínos	7,5	7,5	7,5
Fibra de Sisal	---	1,7	---

Relação água/cimento 0,6.

Onde:

- A fibra curta de Sisal substitui 1,7% da massa da areia.
- A casca de arroz substitui 4% da massa da areia.
- A cinza da cama sobreposta de suínos substitui 30% da massa do cimento.

Para a confecção das placas a argamassa foi vertida em uma moldura de madeira quadrada (800 mm x 600 mm x 30 mm) sobre uma placa metálica que, por sua vez, estava sobre a mesa vibratória de superfície plana, acionada por motor de

3 kW e com freqüência de vibração igual a 2200 rpm. O adensamento por vibração durou 10 min.

Após a moldagem, a placa foi completamente vedada com plástico por dois dias. Foi confeccionada uma placa por formulação. Para completar o processo de cura, as placas foram imersas em água por 26 dias. Na Figura 8 estão ilustradas as etapas de preparação da argamassa e a placa para o piso moldada.

Figura 8 – (a) Homogeneização das matérias cimento Portland, areia e cinza de cama sobreposta de suínos; (b) mistura da massa com adição de água; (c) placa para o piso recém moldada ; (d) placa após cura de 2 dias.

6.4.2 Escamoteadores

6.4.2.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, da Universidade de São Paulo na cidade de Pirassununga - SP. O município de Pirassununga encontra-se na altitude de 630 m, coordenadas 21º57’02” de latitude Sul e 47º27’50” de longitude Oeste. O clima da região é do tipo Cwa de Köeppen, tropical, sazonal, com duas estações bem definidas, verão chuvoso (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro), com raras ocorrências de geada. A temperatura média anual é de 23,0ºC, umidade relativa média de 73% e a pluviosidade média anual é próxima a 1303 mm (PIRASSUNUNGA, 2010).

6.4.2.2 Montagem dos abrigos escamoteadores

O experimento foi realizado em novembro de 2009, foram selecionados para análise os três dias de menor entalpia (H) considerados como críticos, segundo Moura et al. (1997) *apud* Pandorfi (2004). O termostato manteve a temperatura do bulbo no centro das resistências em 55, 45, 35 e 30℃, para estudo neste trabalho. A

Figura 9 ilustra a disposição da resistência elétrica e do bulbo, a Figura 10 ilustra a placa, base para o abrigo escamoteador.

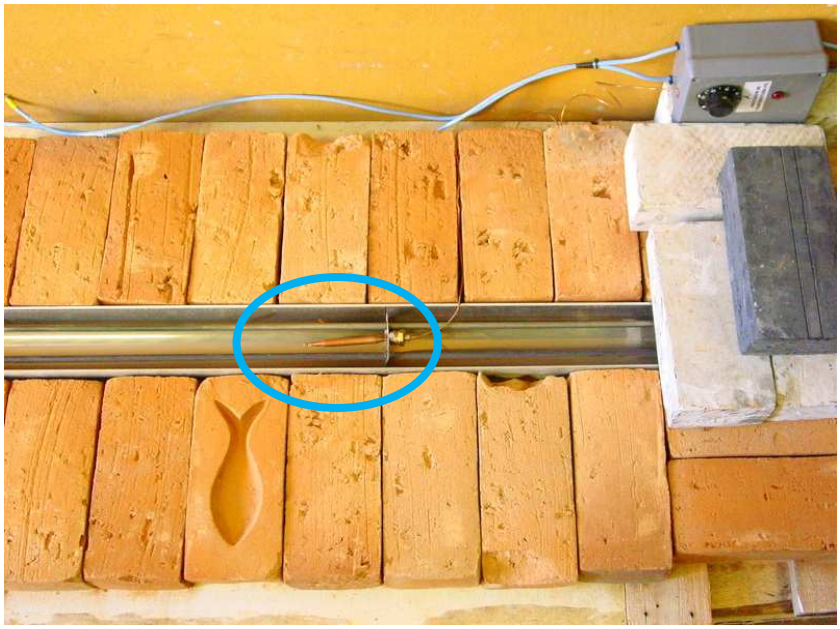


Figura 9 – Resistência elétrica com destaque para o bulbo.

Figura 10 – Base para o abrigo escamoteador

A resistência foi interligada a um termostato com variação de temperatura de 20 a 120ºC, para que a temperatura da resistência pudesse variar de acordo com as temperaturas a serem estudas: 30, 35, 45 e 55℃. A Figura 11 ilustra o modelo de abrigo escamoteador utilizado no trabalho. Cuja dimensão é 80 cm x 50 cm x 60cm.

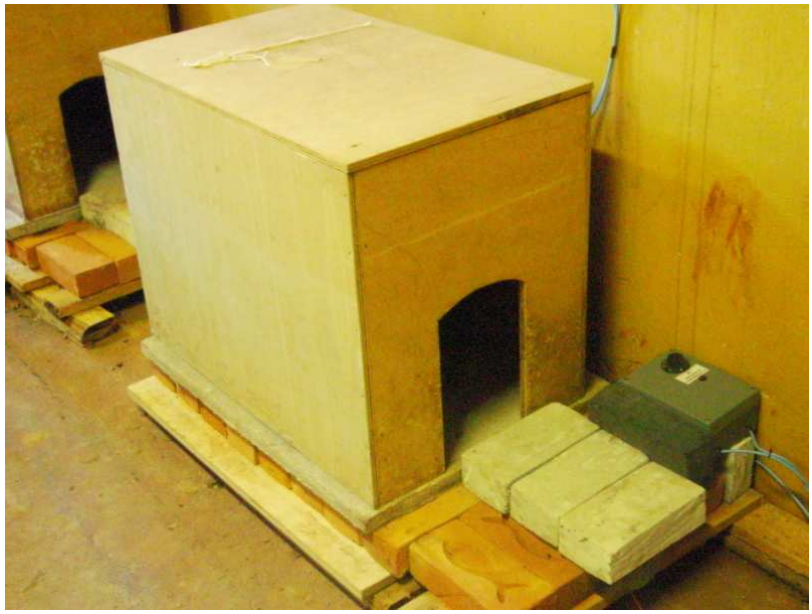


Figura 11 – Foto ilustrativa do abrigo escamoteador

6.4.3 Caracterização do microclima

Para caracterizar o ambiente na região do experimento, foi utilizada a estação meteorológica Campbell Scientific modelo 21X(L), existente próxima ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da FZEA-USP, para medida dos seguintes dados meteorológicos: temperatura ambiente, umidade relativa do ar, precipitação, velocidade do vento e radiação global.

Nos abrigos escamoteadores, os sensores, para a determinação da temperatura ambiental, temperatura de globo negro, temperatura de ponto de orvalho, bem como a umidade relativa do ar, foram colocados no centro geométrico dos abrigos escamoteadores (Figura12). Foi realizado o monitoramento eletrônico desses dados com o uso de “data-logger”, marca Hobo/Onset, instrumento eletrônico que coleta medidas de temperaturas: ambiental e de globo negro e umidade relativa do ar, continuamente.

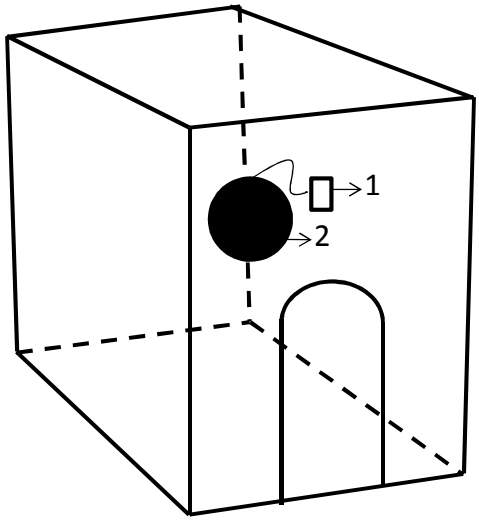


Figura 12 – Foto ilustrativa do sensor “data-logger” (1) e o globo negro (2) no interior do abrigo escamoteador

A temperatura de globo negro é obtida, a partir de uma esfera oca, pintada externamente com tinta preta fosca, contendo o sensor de temperatura em seu centro. As leituras ocorreram a cada 10 min, por meio do sensor do logger, ficando os dados armazenados na memória do aparelho.

Para análise estatística, o dia foi dividido em doze períodos (de 2 horas cada): 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24, assim foram calculadas as médias de cada dado coletado para cada período.

Através dos dados coletados, foram analisadas os índices de conforto térmico: índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica

radiante (CTR), entalpia (H), e as variáveis temperatura ambiente e umidade relativa do ar no interior dos abrigos escamoteadores.

6.4.3.1 Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU)

O ambiente térmico composto pela temperatura ambiente, pela umidade relativa, pela velocidade do ar e pela radiação é representado pelo índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), que afeta diretamente os animais (Sartor et al., 2000). Buffington et al. (1981) apud Pereira (2007) propuseram o índice de temperatura de globo. Esse índice foi desenvolvido com base no índice de temperatura e umidade (ITU), mas usando a temperatura de globo negro no lugar da temperatura de bulbo seco, expressando-se pela equação abaixo:

$$ITGU = Tg + 0{,}36To + 41{,}5 \qquad (7)$$

Onde:

Tg = temperatura de globo negro (ºC);

To = temperatura do ponto de orvalho (ºC).

6.4.3.2 Carga térmica radiante (CTR)

A Carga Térmica Radiante será determinada pela equação abaixo, proposta por Esmay (1982):

$$CTR = \delta(\mathrm{TMR})^4 \qquad (8)$$

Onde:

CTR = carga térmica radiante ($W.m^{-2}$);

$\delta = 5{,}67.10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$ (constante de Stefan-Boltzman).

$$TMR = 100x\left[2{,}51x(Vv)^{0,5}x(Tg - Ta) + \left(\frac{Tg}{100}\right)^4\right]^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

Onde:

TRM= Temperatura radiante média do ambiente (K);

Ta = temperatura ambiente (K);

Tg = temperatura de globo negro (K);

Vv = velocidade do vento (m/s).

6.4.3.3 Entalpia (H)

Entalpia é a energia do ar úmido por unidade de massa de ar seco (kcal/kg de ar seco ou kJ/kg de ar seco), ou seja, é uma variável física que indica a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor d'água. Portanto, nos casos de alteração na umidade relativa, para uma mesma temperatura, a energia envolvida nesse processo se altera e, como conseqüência, as trocas térmicas no ambiente serão alteradas (BARBOSA FILHO, 2004).

A equação para o cálculo da entalpia foi descrita por Villa Nova (1999), citada por Furlan (2001), como:

$$H = 6{,}7 + 0{,}243xTbs + \left\{\frac{UR}{100}x10^{\wedge}\left[\frac{(7{,}5xTbs)}{(237{,}3 + Tbs)}\right]\right\} \quad (10)$$

Onde:

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

Tbs = temperatura ambiente (bulbo seco) (ºC);

UR = umidade relativa (%).

6.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos ensaios físicos e mecânicos deste trabalho utilizou um delineamento inteiramente casualizado e para comparação das médias utilizou-se o Teste de Tukey à P<0,05 (SAS, 2004).

Para análise do microclima dos abrigos escamoteadores utilizou-se um ensaio fatorial 3x4 (Trat com os níveis: CCSS, CCSS+CA, CCSS+SISAL e Resistência com os níveis 30, 35, 45 e 55) com medidas repetidas no tempo (Período = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24 horas) em um delineamento em blocos casualizados (Dias 1, 2 e 3). A eleição dos períodos para a análise dos dados experimentais baseou-se nos índices de conforto térmico (entalpia (H)).

Os dados de - índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR), entalpia (H), temperatura ambiente (TA) e umidade relativa (UR) - foram submetidos à análise de variância utilizando-se o proc mixed do SAS (SAS, 2004). Esta análise envolveu a escolha de uma estrutura de covariâncias adequada, que explicasse bem o comportamento das variâncias das respostas nos diversos períodos, bem como as covariâncias entre essas ocasiões.

Quando a interação Tratamento x Resistência resultou significativa pela análise de variância, procedeu-se ao seu desdobramento. Para comparar as médias dos tratamentos em cada um dos níveis de Resistência foram utilizados dois contrastes ortogonais (Y1: CCCS versus (CA + Sisal) e Y2: CA + Sisal). Nas comparações entre os níveis de Resistência em cada um dos tratamentos foi feito um estudo de tendência com o intuito de verificar se o comportamento da resposta média pode ser bem explicada por um polinômio de grau 1, 2 ou 3, em cada um dos níveis de tratamento.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos na caracterização das matérias-primas que foram utilizadas no presente trabalho, além dos resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos compósitos e caracterização do microclima interno do abrigo escamoteador.

7.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

7.1.1 Cimento Portland

Na Tabela 5, são apresentados os compostos químicos do cimento Portland. A composição química do cimento Portland está de acordo com as características requeridas pela norma brasileira NBR 5733 (1991) e colabora com a identificada por Possan (2007). O valor 3,098 (± 0,003) obtido para a massa específica do cimento Portland CP V-ARI corrobora com a massa específica obtida por Souza (2007).

Tabela 5 – Valores da análise química da amostra de cimento Portland (% em massa).

Composto	Cimento Portland CP V-ARI
Na_2O	0,48
MgO	1,55
Al_2O_3	3,59
SiO_2	18,1
P_2O_5	0,17
SO_3	6,41
Cl	não detectado (nd)
K_2O	1,13
CaO	65,2
TiO_2	0,27
V_2O_5	<<
MnO	0,06
Fe_2O_3	2,75
ZnO	0,01
Br	nd
Rb_2O	0,01
SrO	0,23
Perda ao Fogo	0

A Figura 13 mostra a distribuição granulométrica do cimento Portland CPV-ARI. O resultado indica que 50% dessa matéria-prima é composta de partículas na faixa de tamanho abaixo de 10 µm, esta faixa é a mesma encontrada por Possan (2007).

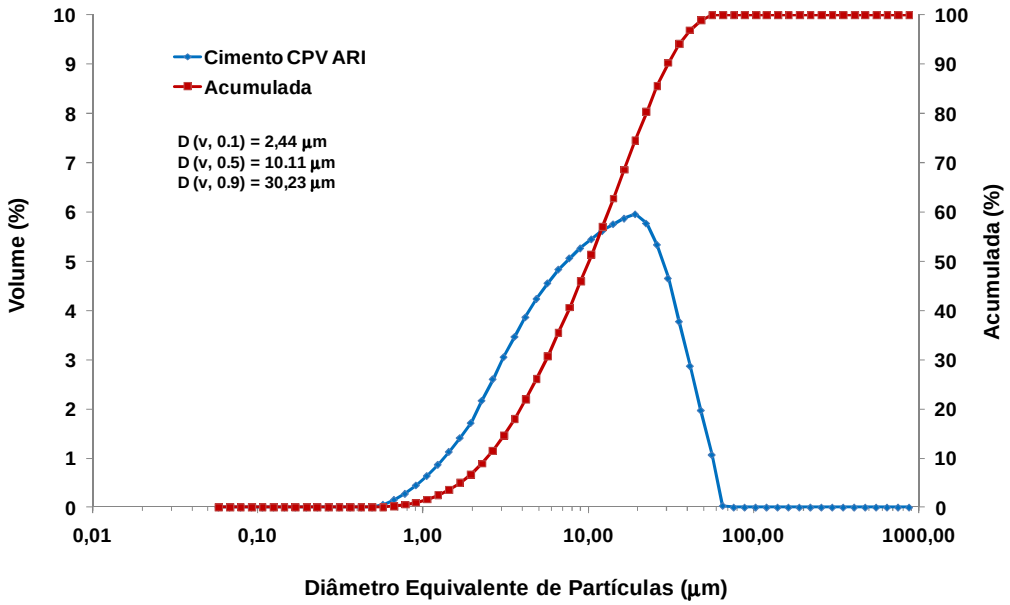


Figura 13 – Distribuição granulométrica do cimento Portland CP V-ARI

7.1.2 Areia

A Figura 14 apresenta a distribuição granulométrica da areia, passante na peneira #16. Os resultados mostram que a areia pode ser considerada média grossa conforme norma brasileira NBR 7214 (1982), nota-se que 50% das partículas encontram-se na faixa abaixo de 727,68 µm, o resultado obtido para sua massa específica foi de 2,651 (± 0,003).

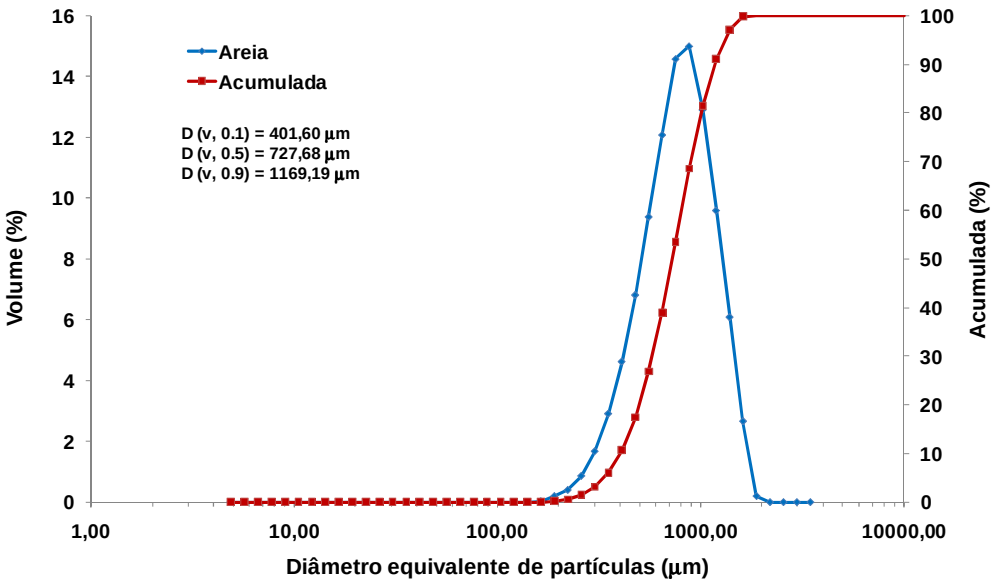


Figura 14 – Distribuição granulométrica da areia

7.1.3 Casca de Arroz

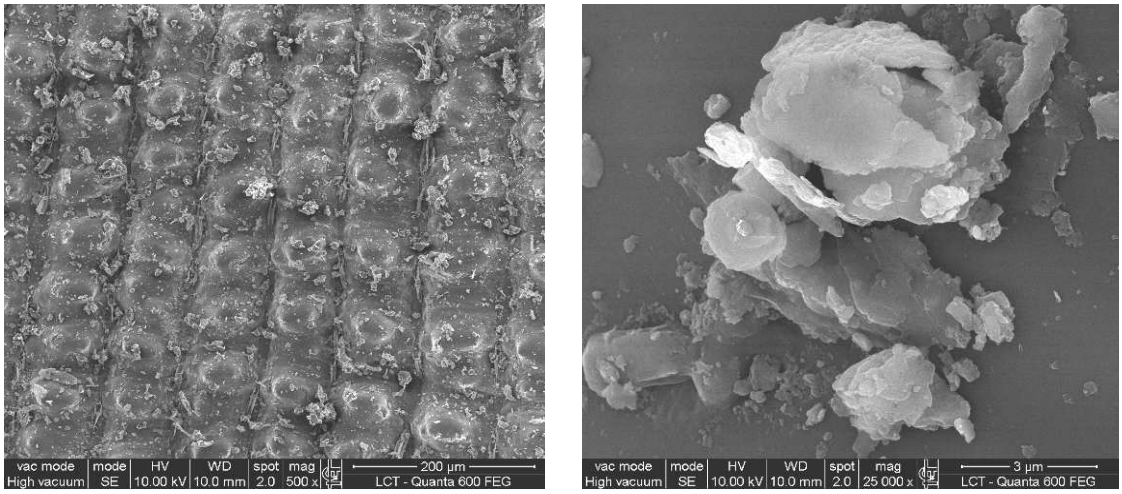
O resultado da análise bromatológica realizada na amostra da casca de arroz está expressa na Tabela 6. Para fazer esta análise foi utilizada 100 g de cada amostra.

Tabela 6 – Valores em porcentagem de massa utilizando como base na massa seca 100%

Análise	Casca de Arroz
Matéria seca	91,86
Matéria Mineral	17,17
Proteína Bruta	3,11
Fibra Bruta	49,42
Extrato Etéreo	0,42
Extrativo Não-Nitrogenado	21,74

Os valores apresentados para a CA estão de acordo com os valores determinados por Fraga (2005).

A Figura15 por meio da microscopia eletrônica de varredura da CA observa-se a Figura 15 a e b. Na Figura 15 pode-se observar também a característica da superfície rugosa da CA, a morfologia lamelar e geometria irregular da CA.



(a) (b)

Figura 15 – (a) Microscopia eletrônica de varredura da casca de arroz; (b) Destaque da morfologia da CA.

A massa específica da CA é 1,522 (±0,004). Segundo Trojal (2002), a casca de arroz, tendo massa específica média 1,522 (g/cm^3), pode ser considerada agregado leve.

7.1.4 Cinza da casca de Arroz

A massa específica da CCA é 2,292 (±0,003). A massa específica média da cinza de casca de arroz corrobora com o valor encontrado por Reed (1938) apud Della (2001) de 2,20 (g/cm$^{3)}$, Hoppe (2005) de 2,17 (g/cm^3) e Souza (2007) de 2,62 (g/cm^3). Na Tabela 7 são apresentados os compostos químicos das cinzas da casca de arroz. A composição química da cinza varia em função do solo em que o arroz é plantado, dos tipos e teores de fertilizantes utilizados, bem como o tipo de arroz propriamente dito (GAVA, 1999). Souza (2007) e Possan (2007) encontraram respectivamente 87,44 e 86,5% de SiO_2 na CCA sendo que o valor encontrado neste trabalho foi 93,9%. A perda ao fogo de 0,03% indica que o tratamento térmico utilizado para queima da casca de arroz foi suficientemente adequado para eliminar toda a matéria orgânica.

Tabela 7 – Valores da análise química da amostra de cinza de casca de arroz (% em massa).

Composto	Cinza de casca de arroz
Na_2O	0,17
MgO	0,64
Al_2O_3	0,29
SiO_2	93,9
P_2O_5	1,00
SO_3	0,47
Cl	0,12
K_2O	2,07
CaO	0,88
TiO_2	0,04
V_2O_5	nd
MnO	0,17
Fe_2O_3	0,17
ZnO	0,01
Br	<<
Rb_2O	0,01
SrO	<<
Perda ao Fogo	0,03

De acordo com o difratograma da cinza de casca de arroz, apresentado na Figura 17, observou-se que há ausência de picos que definem a presença de fases cristalinas. Além disso, constatou-se que existe uma banda larga entre os ângulos 2θ de 15 a 35º, indicando a presença de material amorfo. A amorficidade favorece a maior reatividade pozolânica das cinzas de casca de arroz (REGO, 2004 e NAIR *et al.,* 2006). Vale ressaltar que o controle da queima da casca de arroz é de fundamental importância para se obter sílica amorfa (SILVA, 2007).

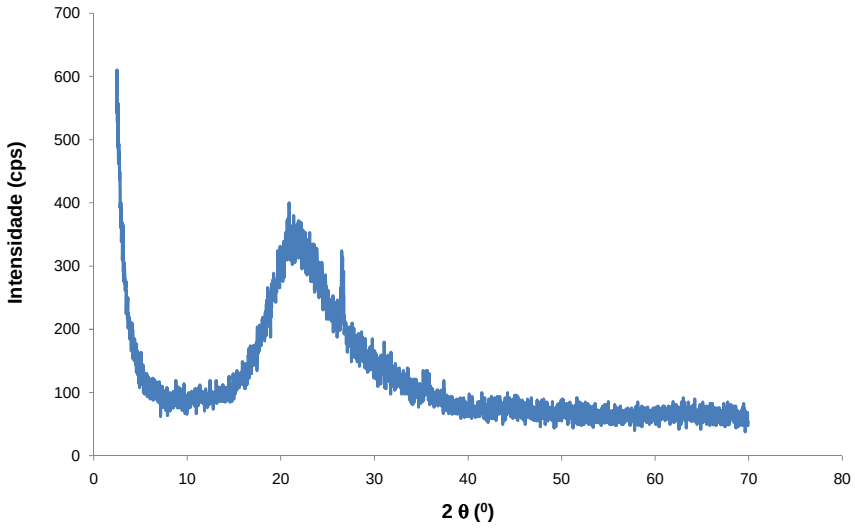


Figura 17– Difratometria da cinza de casca de arroz

A Figura 18 apresenta a distribuição granulométrica da cinza de casca de arroz queimada a 600℃.

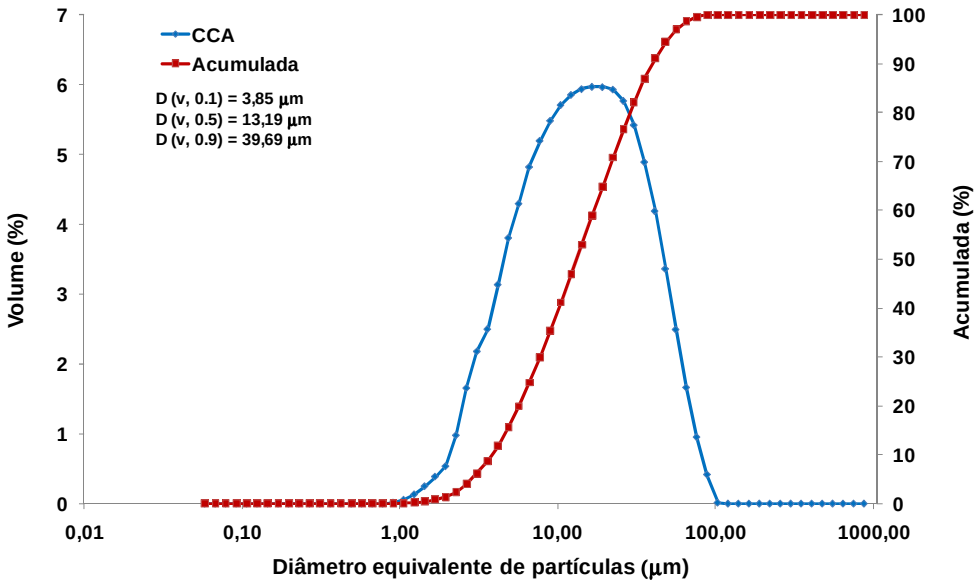


Figura 18 – Distribuição granulométrica da cinza de casca de arroz

Nota-se que maioria das partículas (50%) apresenta o diâmetro médio equivalente abaixo de 13,19 µm, a mesma distribuição granulométrica foi determinada por Possan (2007). Esse resultado pode indicar uma elevada capacidade de reatividade. As micrografias do MEV da cinza de casca de arroz corroboram com os resultados da distribuição granulométrica em que percebe-se que majoritariamente existem partículas na faixa de 10 µm (Figura 19). Nota-se também que existem muitos aglomerados como resultado da pouca dispersão de partículas.

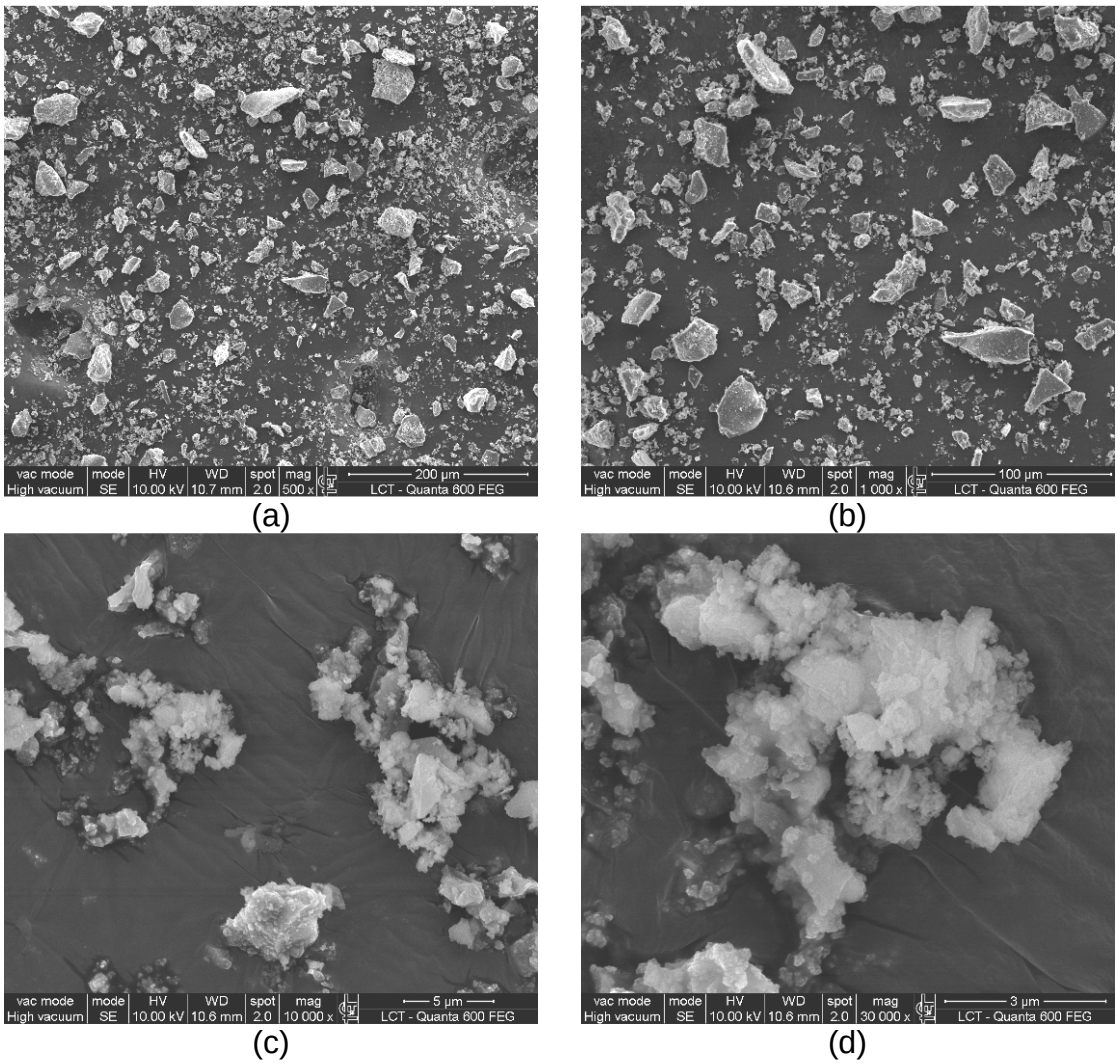


Figura 19 – (a) Microscopia eletrônica de varredura da cinza de casca de arroz (500x); (b) partículas de cinza de casca de arroz com morfologia irregular (1000x); (c) partículas aglomeradas (d) Destaque das partículas aglomeradas (30000x).

A Figura 20 mostra o gráfico da condutividade elétrica da solução saturada de hidróxido de cálcio com cinza da casca de arroz, o resultado mostra que as cinzas de casca de arroz diminuem a concentração de íons de Ca^{2+} da solução indicada pela diminuição da condutividade elétrica em função do tempo. Este comportamento concorda com os resultados apresentados pela difração de raios X e distribuição granulométrica, pois mostraram que as cinzas são amorfas e que o tamanho de partículas está na ordem de 10 µm. Estas características físicas podem favorecer a reatividade pozolânica, o que reforça os resultados obtidos no ensaio de distribuição granulométrica.

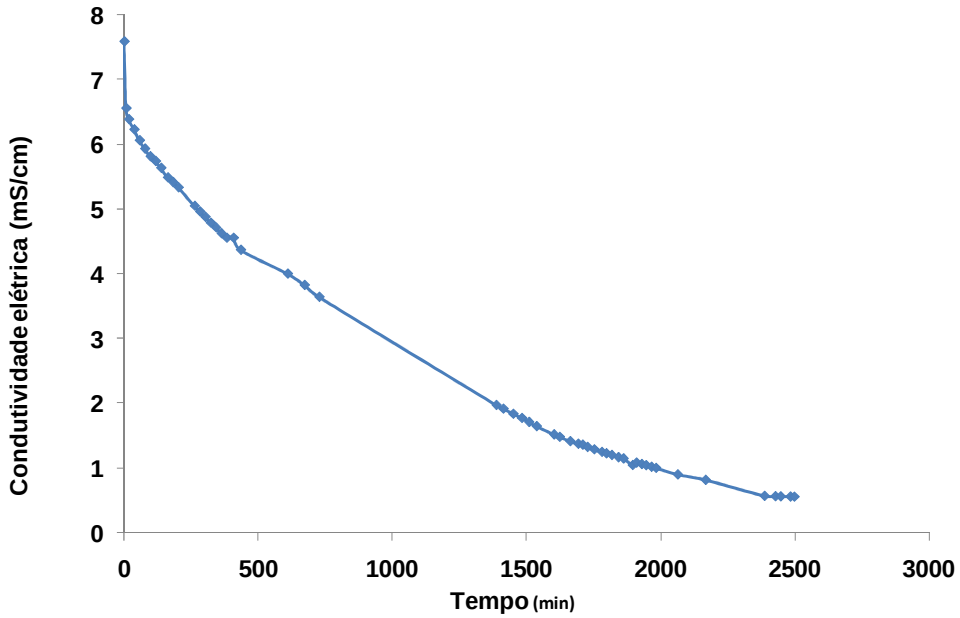


Figura 20– Condutividade elétrica em função do tempo da solução saturada de hidróxido de cálcio com cinza de casca de arroz.

7.1.5 Cama sobreposta de suínos

O resultado da análise bromatológica realizada na amostra da cama sobreposta de suínos está expressa na Tabela 8. Para fazer esta análise foi utilizada 100 g de cada amostra. Os valores atribuídos a CCSS estão próximos aos obtidos por Di Campos (2005a).

Tabela 8 – Valores em porcentagem de massa utilizando como base na massa seca 100%

Análise	Cama Sobreposta de Suínos
Matéria seca	89,96
Matéria Mineral	30,43
Proteína Bruta	8,38
Fibra Bruta	29,77
Extrato Etéreo	0,25
Extrativo Não-Nitrogenado	31,17

O valor da massa específica 2,554 (± 0,004) da amostra de CCSS está entre os valores obtidos pela CCA e do cimento Portland. A massa específica de CCSS está relacionada com a quantidade de material orgânico, por conseqüência com a temperatura de calcinação (SANTOS, 1997).

O aumento da temperatura leva à redução da quantidade de substâncias voláteis e, como conseqüência, ao aumento da porosidade interna da cinza, interferindo assim sobre a massa específica (DI CAMPOS, 2009). Na Tabela 9 são apresentados os compostos químicos das cinzas da cama sobreposta de suínos.

Tabela 9 – Valores da análise química da amostra de cinza de cama sobreposta de suínos (% em massa).

Composto	Cinza de cama sobreposta de suínos
Na_2O	1,33
MgO	2,48
Al_2O_3	4,55
SiO_2	64,4
P_2O_5	5,15
SO_3	2,54
Cl	0,90
K_2O	5,4
CaO	5,66
TiO_2	0,40
V_2O_5	<<
MnO	0,12
Fe_2O_3	2,49
ZnO	0,19
Br	<<
Rb_2O	0,01
SrO	0,04
Perda ao Fogo	4,11

A CCSS apresenta teor de SiO_2 de 64,4% superior ao obtido por Di Campos (2005a) de 42,40% e Di Campos (2009) de 47,91%. A soma dos teores dos compostos: SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3 é 71,44%, esses teores apresentaram valores próximos do limite mínimo (65%) proposto pela ASTM C-618-03 (2003) e por VARSHNEY (1982). O difratograma da cinza de cama sobreposta de suínos é apresentado na Figura 21.

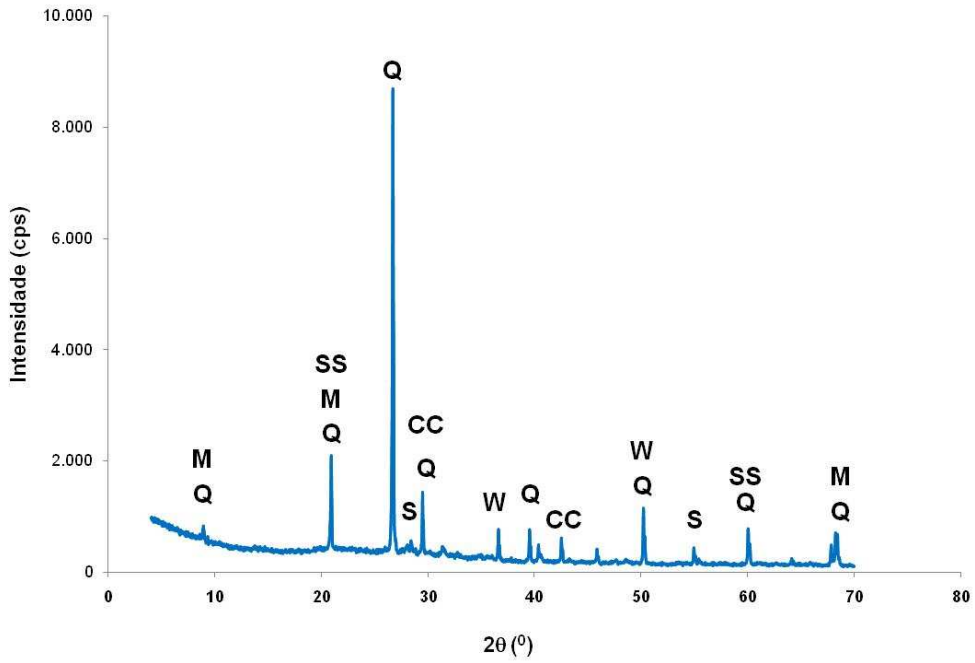


Figura 21 – Difratometria da cinza de cama sobreposta de suínos. (Q: quartzo, M: muscovita - $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$, CC: carbonato de cálcio - $CaCO_3$, W: whitlockita - $Ca_9(Mg,Fe^{2+})(PO_4)_6(PO_3OH)$, SS: sulfato de sódio - Na_2SO_4, S: silvita - KCl)

Observa-se que há presença de picos que definem a presença de fases cristalinas, com destaque para o quartzo (SiO_2) e o carbonato de cálcio ($CaCo_3$).

A Figura 22 apresenta a distribuição granulométrica da cinza de cama sobreposta de suínos, queimada a 600℃. Nota-se que 50% das partículas possuem diâmetro equivalente de tamanho das partículas abaixo de 54,81 µm.

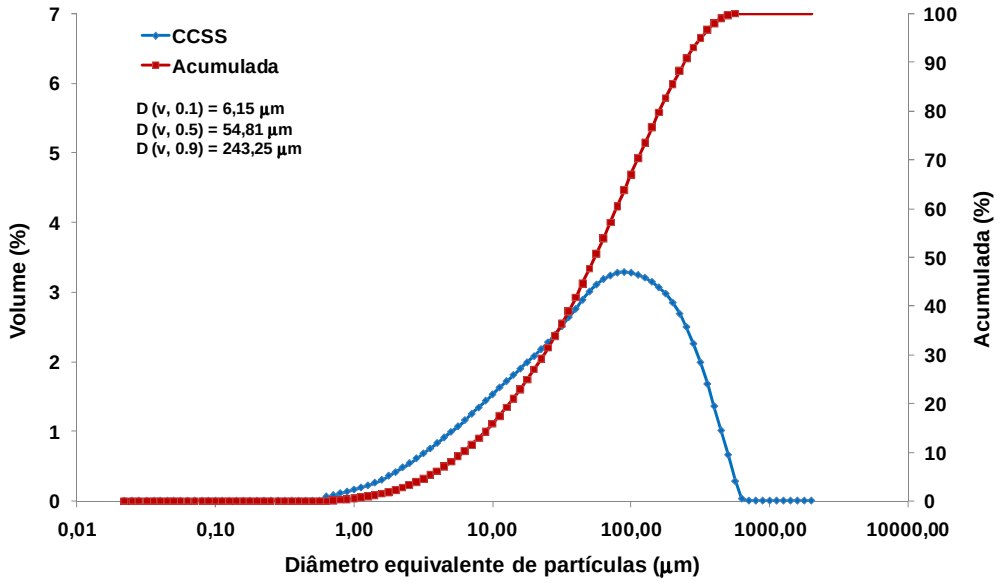


Figura 22 – Distribuição granulométrica da cinza de cama sobreposta de suínos

A caracterização microestrutural da cinza, Figura23 (a), mostra a presença de partículas grandes e pequenas, predominando as menores. O formato alongado com aparência de espiga de milho, é provocado pelo processo de queima (Figura 23 b e c). A Figura 23 (d) apresenta epidermes internas e externas.

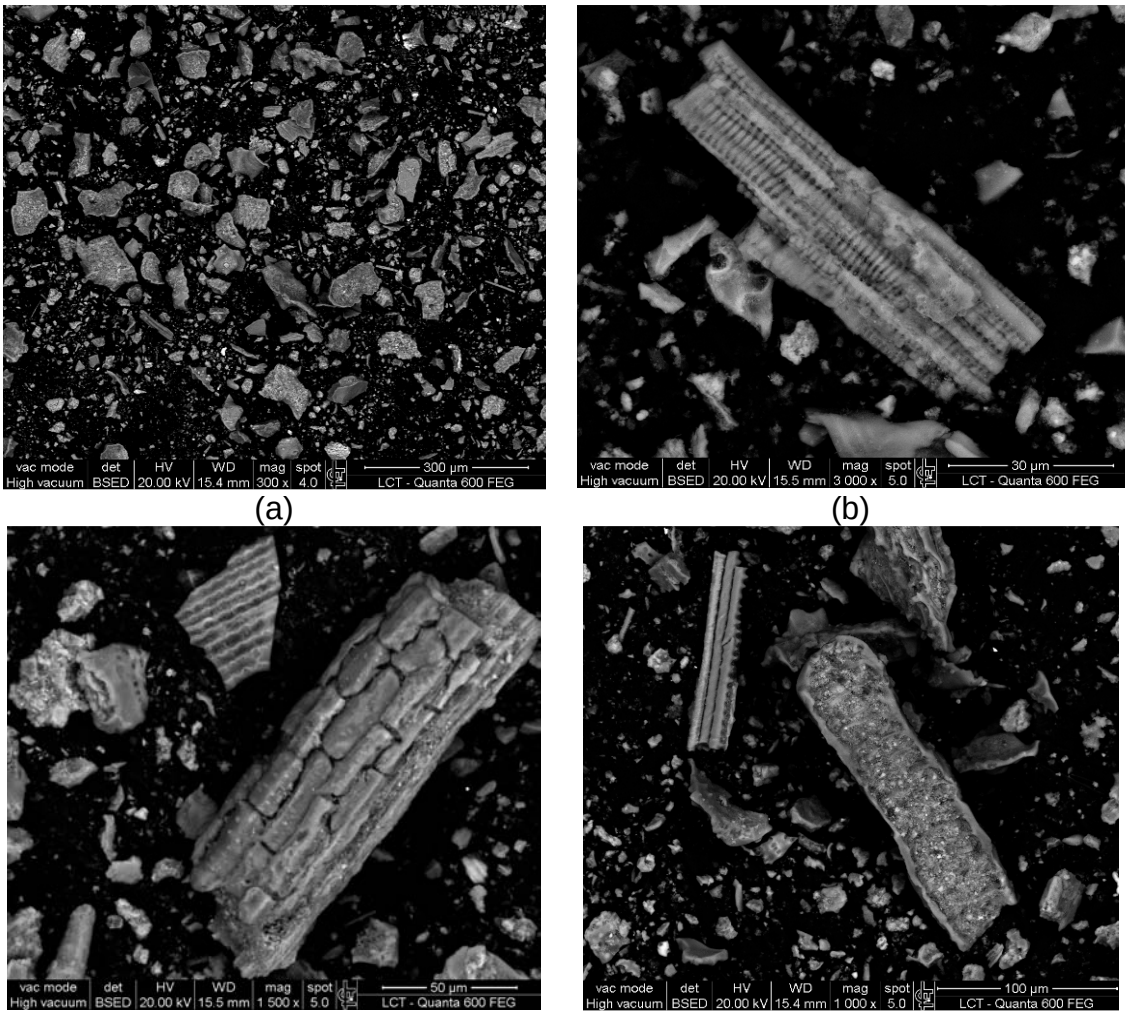


Figura 23 – (a) Microscopia da cinza de casca de arroz; ; (b) Aspecto morfológico; (c) Visualização da epiderme; (d) Destaque da epiderme interna e externa da cinza de cama sobreposta de suínos.

Nota-se, pela micrografia do MEV e pelo EDS, no modo elétrons retroespalhados (Figura 24) diferenças de tonalidade das camadas observadas. Isto ocorre devido à presença de diferentes elementos químicos em diferentes quantidades.

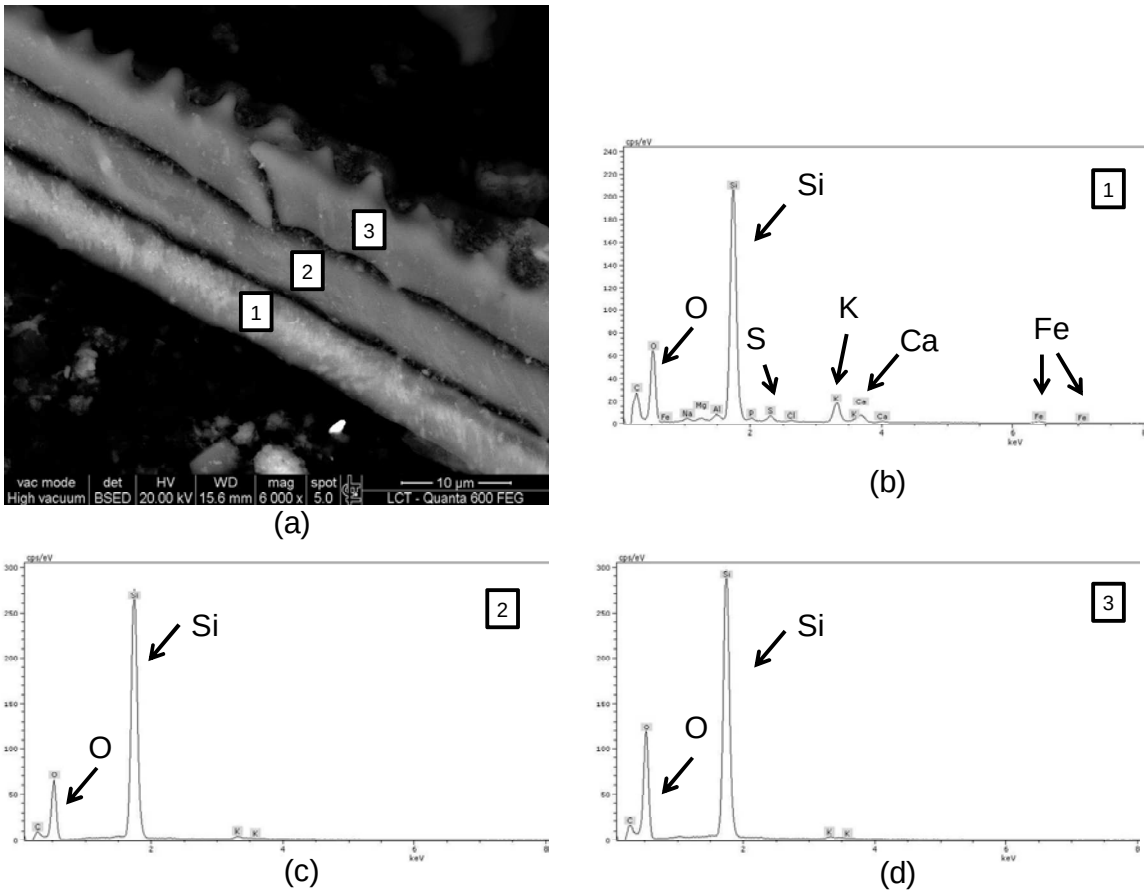


Figura 24 – (a) Destaque das camadas de epiderme da cinza de cama sobreposta de suínos; (b) Gráfico análise química EDS camada 1; (c) Gráfico análise química EDS camada 2; (d) Gráfico análise química EDS camada 3.

Notou-se pela micrografia do MEV e pelo EDS, no modo elétrons retroespalhado (Figura 25), mais detalhadamento a epiderme externa e interna de uma das partículas presente na cinza vista na Figura 25 (a). Através do EDS (Figuras 25 b, c e d) pode-se observar uma variação de elementos químicos, bem como sua quantidade.

Vale destacar a camada externa (3) desta molécula rica em sílica. Dentre os óxidos detectados na análise química (Tabela 9), K_2O, CaO e P_2O_5, são considerados fundentes e formadores de fase vítrea (Della, 2001), o que corrobora com os dados apresentados na Figura 24.

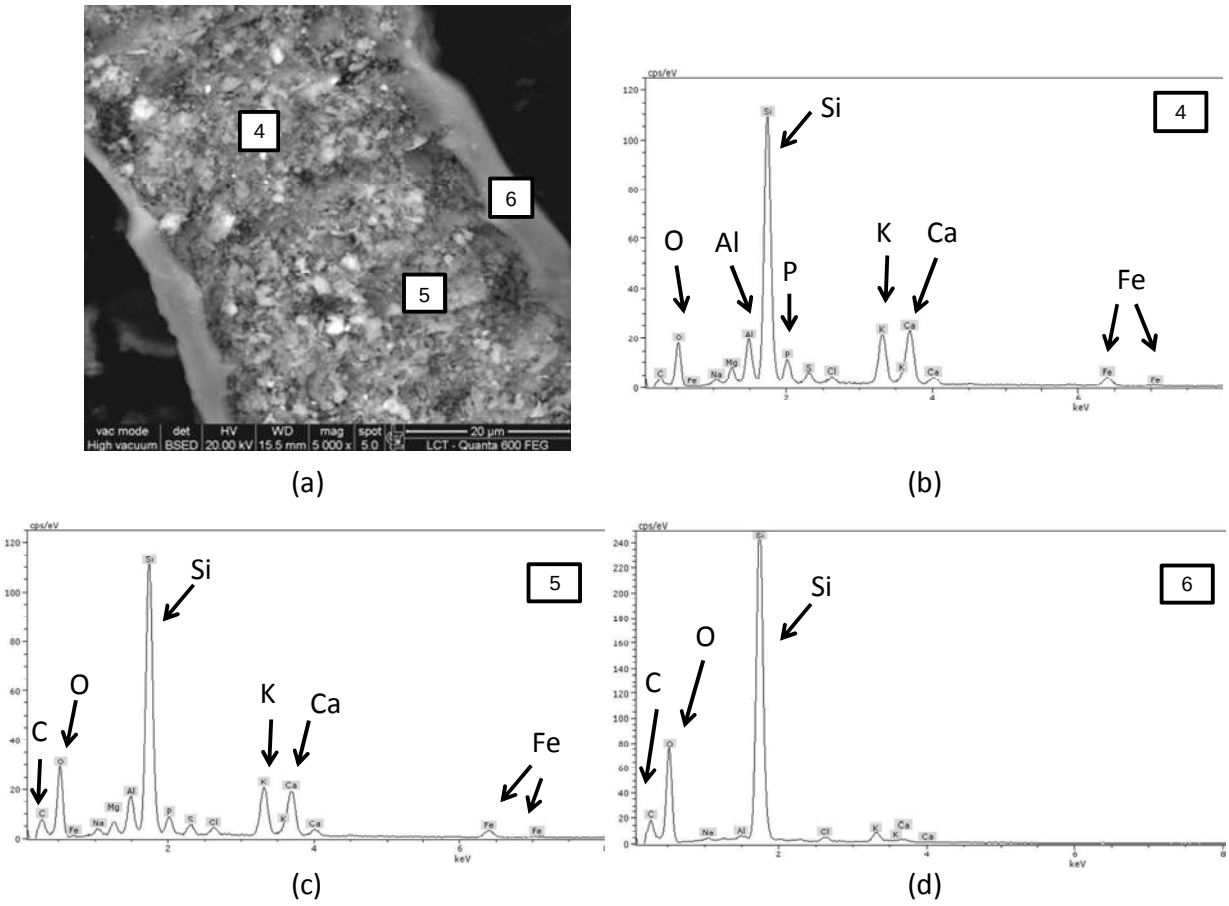


Figura 25 – (a) Destaque da epiderme interna e externa da cinza de cama sobreposta de suínos; (b) Gráfico análise química EDS camada 4; (c) Gráfico análise química EDS camada 5; (d) Gráfico análise química EDS camada 6.

7.1.6 Fibra de Sisal

A Figura 26 (a) ilustra a fibra curta de sisal utilizada, com a microscopia eletrônica de varredura do SISAL observa-se na Figura 26 (b) e (c) as microfibrilas da fibra. A característica da superfície rugosa da fibra é apresentada na Figura 26 (d). As Figuras 26 (b) e (c) apresentam micrografias representativas de uma fibra curta de sisal, nota-se que a morfologia da superfície da fibra curta de sisal apresenta uma estrutura rugosa contendo pequenas partículas, e pequenas fibrilas aderidas à superfície.

Observam-se espaçamentos entre as miofibrilas (Figura 26 (b)), essa característica é de grande importância para aplicações em sistemas de isolamento térmico. O comprimento e o diâmetro médio das fibras utilizadas, observados no estereoscópio, são iguais a 7,8 µm e 0,2 µm respectivamente.

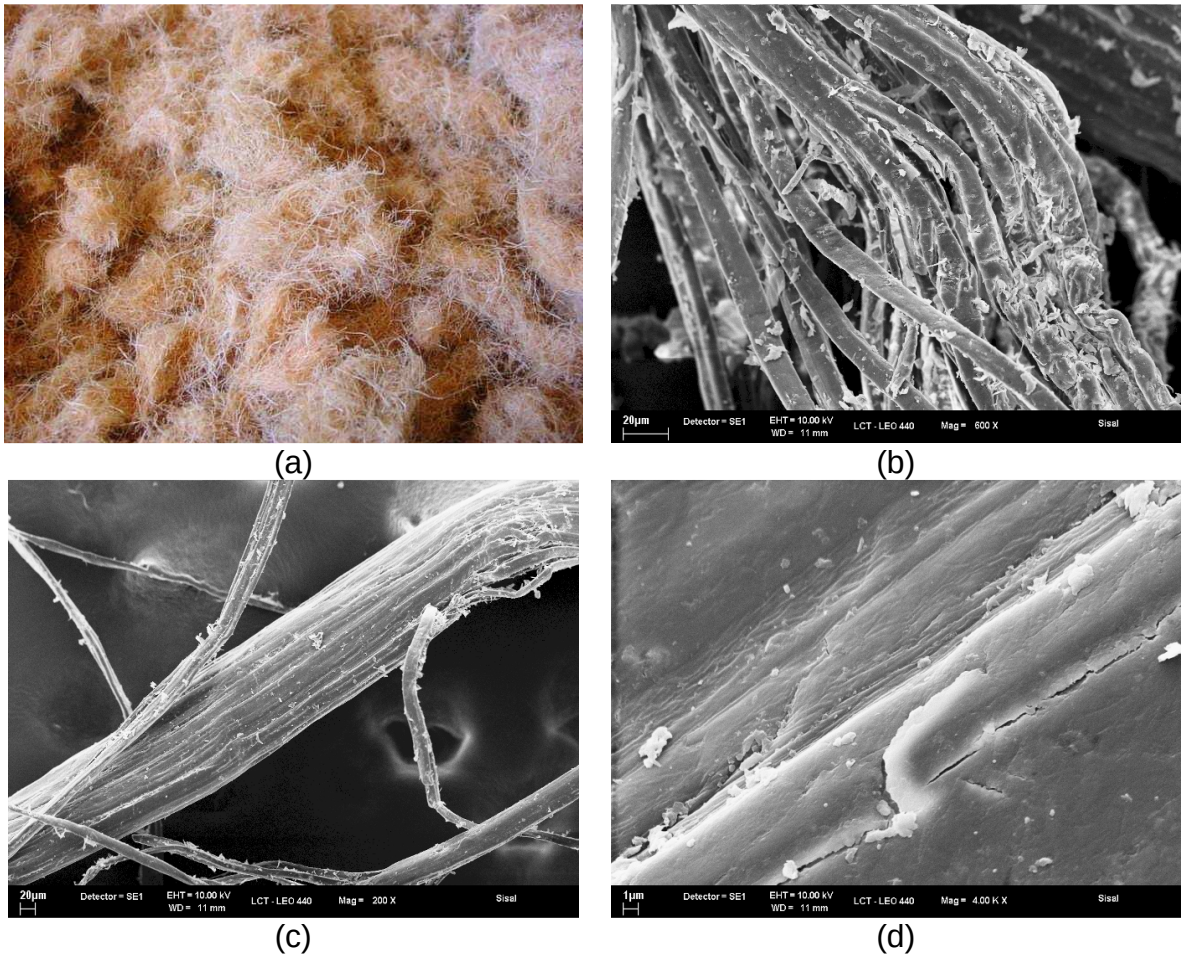


Figura 26 – (a) Foto ilustrativa da fibra curta de sisal; (b) Microscopia eletrônica de varredura da fibra curta de sisal; (c) Destaque microfibrila; (d) Destaque superfície microfibrila.

7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

7.2.1 Ensaio preliminar: estudo da influencia do teor de casca no comportamento do compósito

7.2.1.1 Caracterização física

A Figura 27 compara os resultados de absorção de água, densidade aparente e porosidade aparente, dos corpos-de-prova dos compósitos, descritos na Tabela 4: argamassas com taxa de substituição de 0 (referência), 3, 4 e 5% em massa de areia por casca de arroz, respectivamente, formulações F1, F2, F3 e F4.

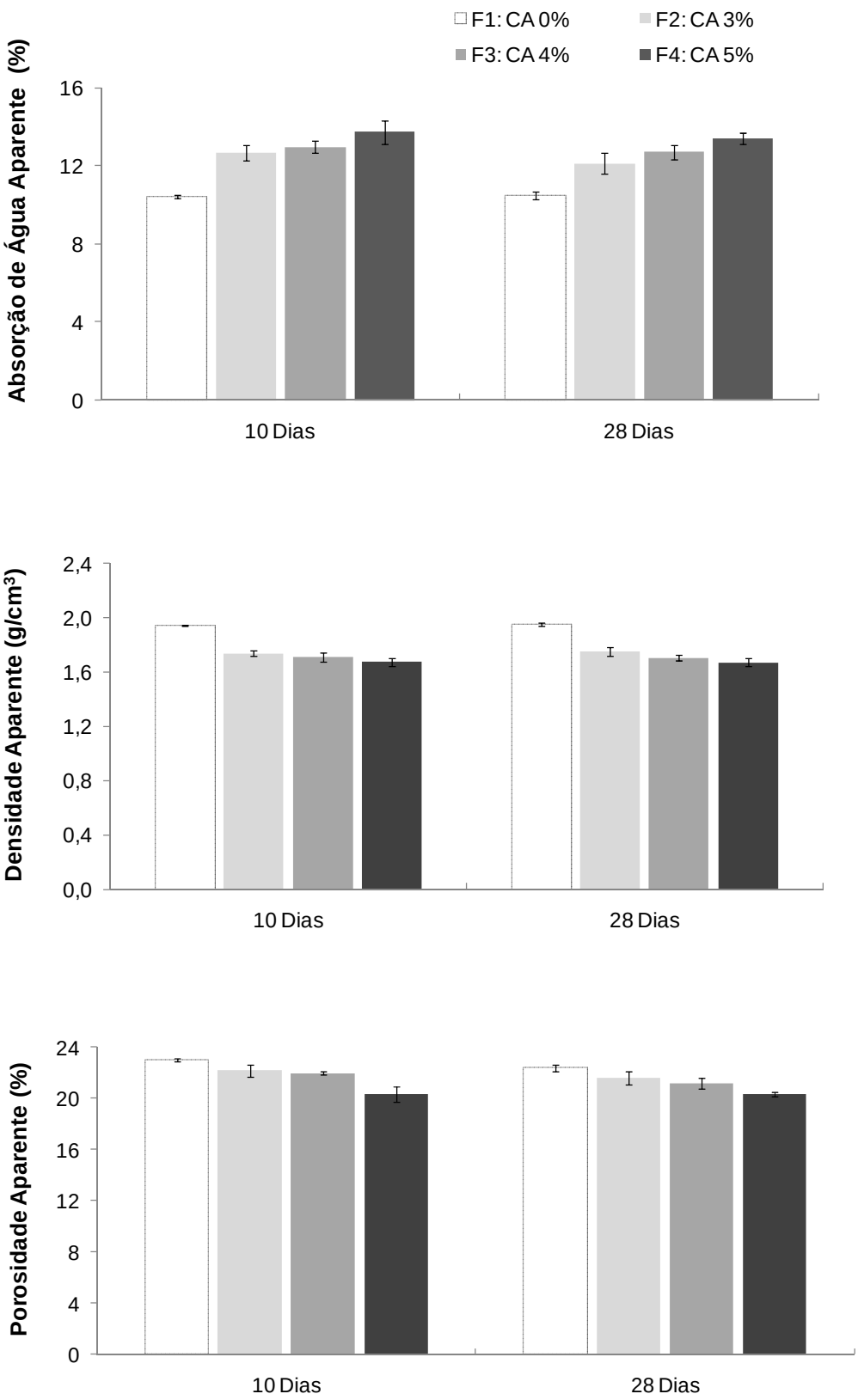


Figura 27 - Caracterização física dos compósito F1, F2, F3 e F4.

Tendo como base os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) os compósitos F3 e F4 apresentaram maior absorção de água aparente, e menor densidade aparente quando comparados aos demais compósitos. Os compósitos F2 e F3 apresentaram maior porosidade aparente em relação ao compósito F4. Estes resultados indicam que a inclusão de 4% em massa de casca de arroz interfere significativamente nas propriedades físicas do compósito, medidas neste trabalho.

7.2.1.2 Caracterização mecânica

Na Figura 28, são apresentados os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) e os respectivos desvios padrões do módulo de ruptura (MOR). O MOR está relacionado com a resistência à tração na flexão e representa a tensão máxima atingida após o trincamento/fissuração do corpo-de-prova. Os resultados mostram claramente que o compósito de referência (F1) apresenta um valor de MOR significativamente maior do que os outros compósitos. Essa diferença indica que a introdução de casca de arroz gera defeitos na microestrutura do compósito. Adicionalmente, notou-se que não ocorre diferença estatística entre os valores de MOR para os compósitos com casca de arroz.

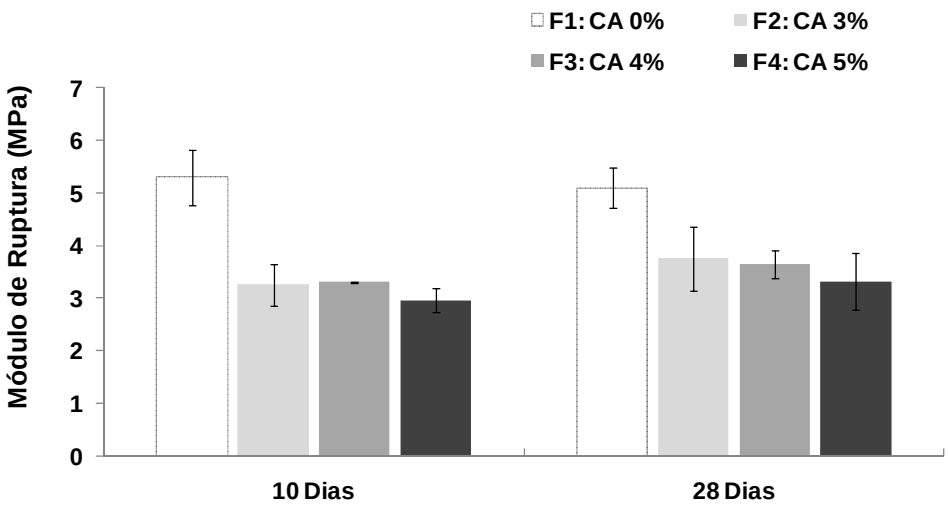


Figura 28 - Módulo de ruptura dos compósitos

A Figura 29 mostra os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) e os desvios padrões do limite de proporcionalidade (LOP) que representa a tensão máxima atingida sob flexão antes do compósito sair do regime elástico.

O desempenho mecânico apresentado pelos compósitos é semelhante ao obtido no MOR. A diminuição do valor de LOP também está relacionada com a introdução de casca de arroz na matriz do compósito.

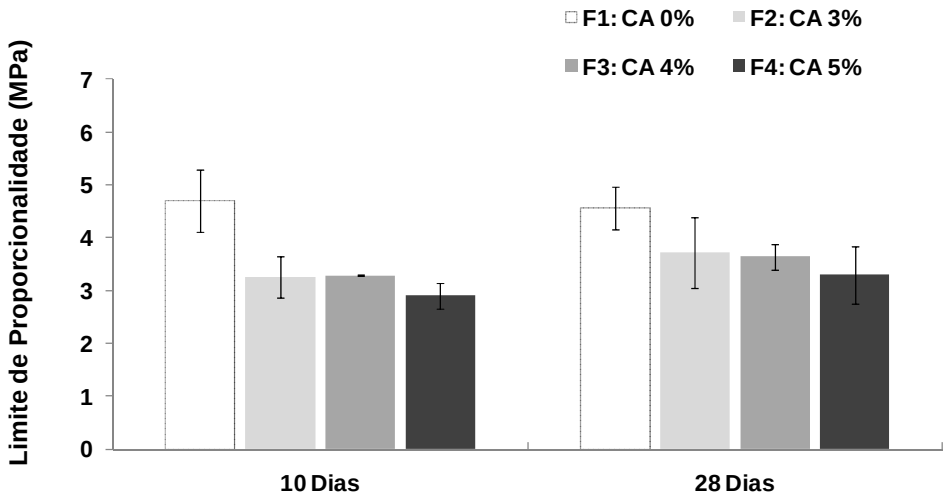


Figura 29 – Limite de proporcionalidade dos compósitos

A energia específica representa a capacidade de absorver energia de impacto e, por conseqüência, está relacionada com a tenacidade do material. A Figura 30 mostra que os compósitos com casca de arroz têm uma maior tenacidade, embora haja dispersão nos resultados. As formulações F3 e F4 apresentaram melhor desempenho mecânico com relação à tenacidade do que o compósito de referência.

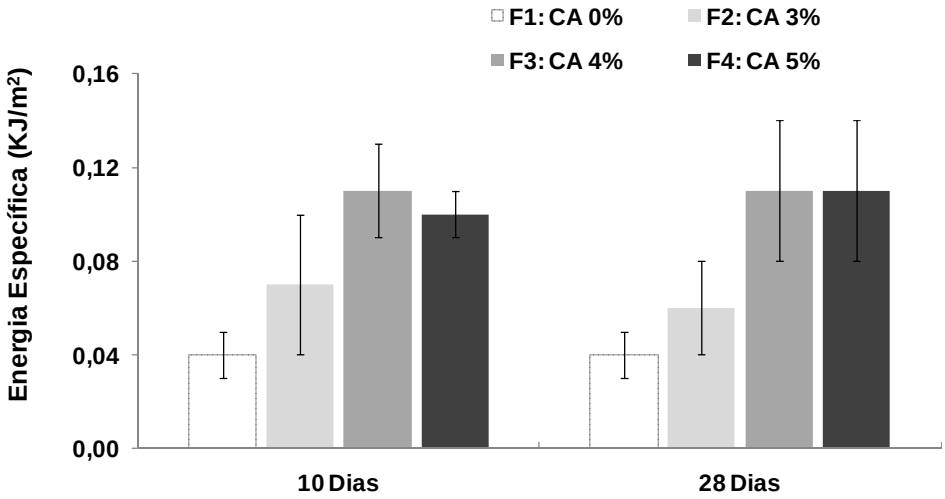


Figura 30 – Energia específica dos compósitos

Na Figura 31 estão apresentados os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) e desvios padrões do módulo elástico, que representa a rigidez do material. Esta propriedade está relacionada diretamente com a matriz do compósito. Com isso, a formulação F1 (referência) tem uma matriz mais rígida do que os compósitos com casca de arroz, ou seja, possui menos defeitos críticos.

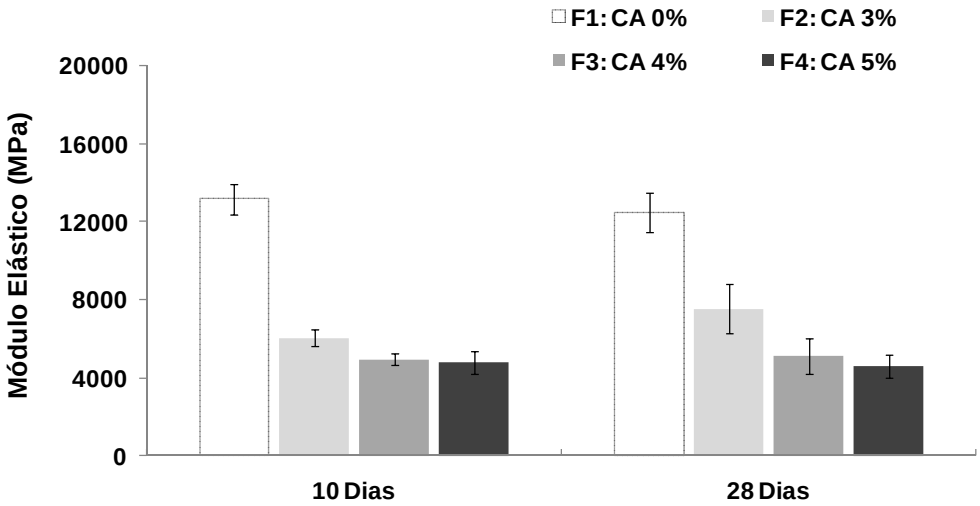


Figura 31 – Módulo elástico dos compósitos

Com a análise dos resultados dos ensaios mecânicos pode-se constatar que o desempenho mecânico em geral dos compósitos com casca de arroz foi pior do que o compósito de referência, com exceção da energia específica.

7.2.1.3 Considerações parciais

A análise dos resultados indica que a substituição da areia em 4% (F3) pela casca de arroz obteve melhor desempenho físico e mecânico, vale destacar sua porosidade aparente, que sendo maior tende a aumentar a sua capacidade de isolamento térmico, característica importante para os escamoteadores. Os compósitos não apresentaram diferença significativa (Teste de Tukey, $P<0,05$) entre as idades, mostrando estabilidade.

7.2.2 Compósitos

7.2.2.1 Caracterização física

A Figura (32) compara os resultados de absorção de água aparente, destacando a inclusão ou não da CCSS, dos corpos-de-prova dos compósitos, descritos na Tabela 4 nas idades 10 e 28 dias.

Notou-se com os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) e desvios padrões que os compósitos com CA e SISAL apresentam maior absorção de água, em relação aos demais compósitos (C1 e C2), a CA e o SISAL contribuem para este resultado.

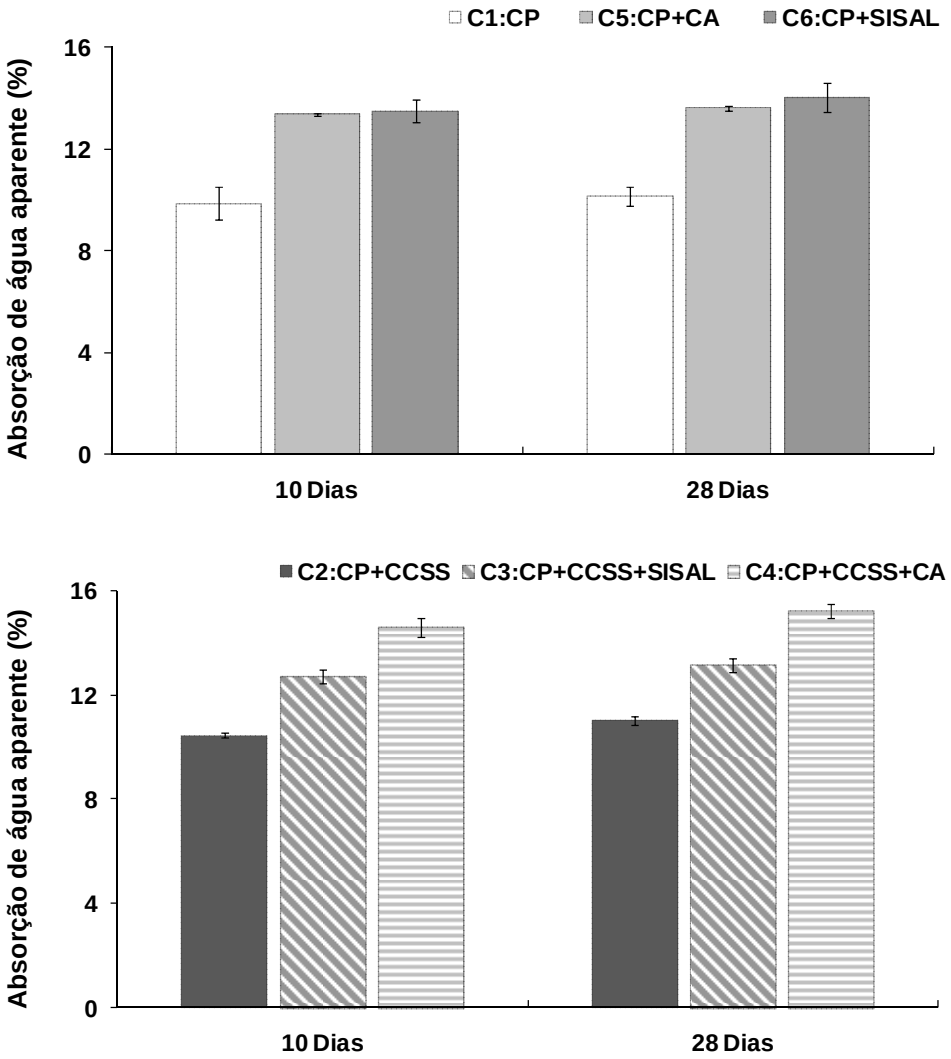


Figura 32 – Absorção de água aparente dos compósitos C1, C5 e C6; C2, C3 e C4. (CP: cimento Portland; CCSS: cinza de cama sobreposta de suínos; CA: casca de arroz; SISAL: fibra curta de sisal).

Angrizani (2006) em estudo comparativo de fibras tratadas (água destilada e soda) e não tratadas afirma que com os tratamentos, é a possível remoção da lignina e outros componentes presentes na fibra vegetal tornando a fibra mais rugosa, mais irregular e hidrofóbica diminuindo a interação da superfície da fibra

através de seus grupos hidroxila. Sendo que o compósito C4 obteve resultado superior aos demais compósitos e os compósitos C1 e C2 apresentam valores próximos.

A Figura (33) compara os resultados de densidade aparente, destacando a inclusão ou não da CCSS, dos corpos-de-prova dos compósitos, descritos na Tabela 4 nas idades 10 e 28 dias.

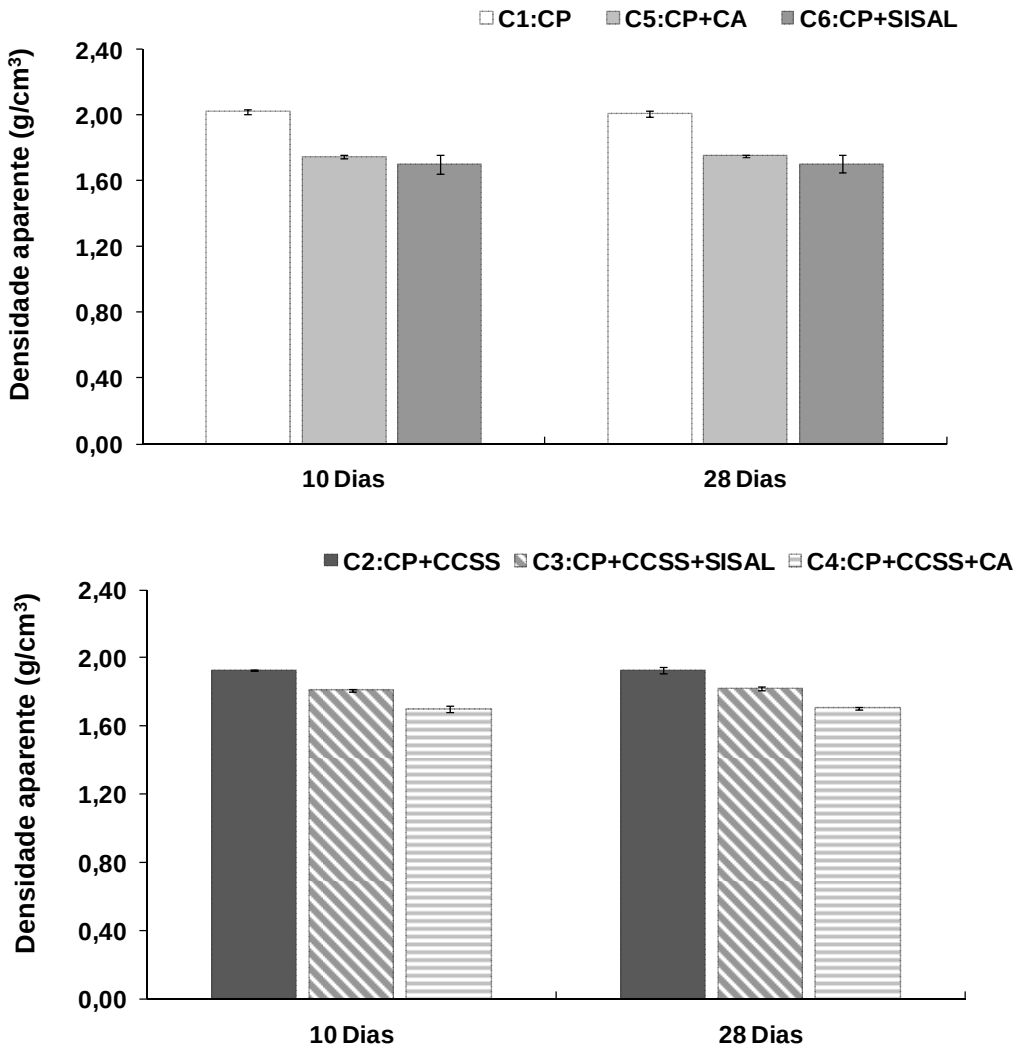


Figura 33 – Densidade aparente dos compósitos C1, C5 e C6; C2, C3 e C4. (CP: cimento Portland; CCSS: cinza de cama sobreposta de suínos; CA: casca de arroz; SISAL: fibra curta de sisal).

Observando-se os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) e desvios padrões nota-se que a densidade aparente dos compósitos C1 e C2 apresenta

resultados próximos e superiores aos demais compósitos. O SISAL e a CA contribuem para a diminuição da densidade aparente. Pode-se destacar que o compósito C3 apresentou-se estatísticamente superior aos demais (C4, C5 e C6).

A Figura (34) compara os resultados de porosidade aparente, destacando a inclusão ou não da CCSS, dos corpos-de-prova dos compósitos, descritos na Tabela 4 nas idades 10 e 28 dias.

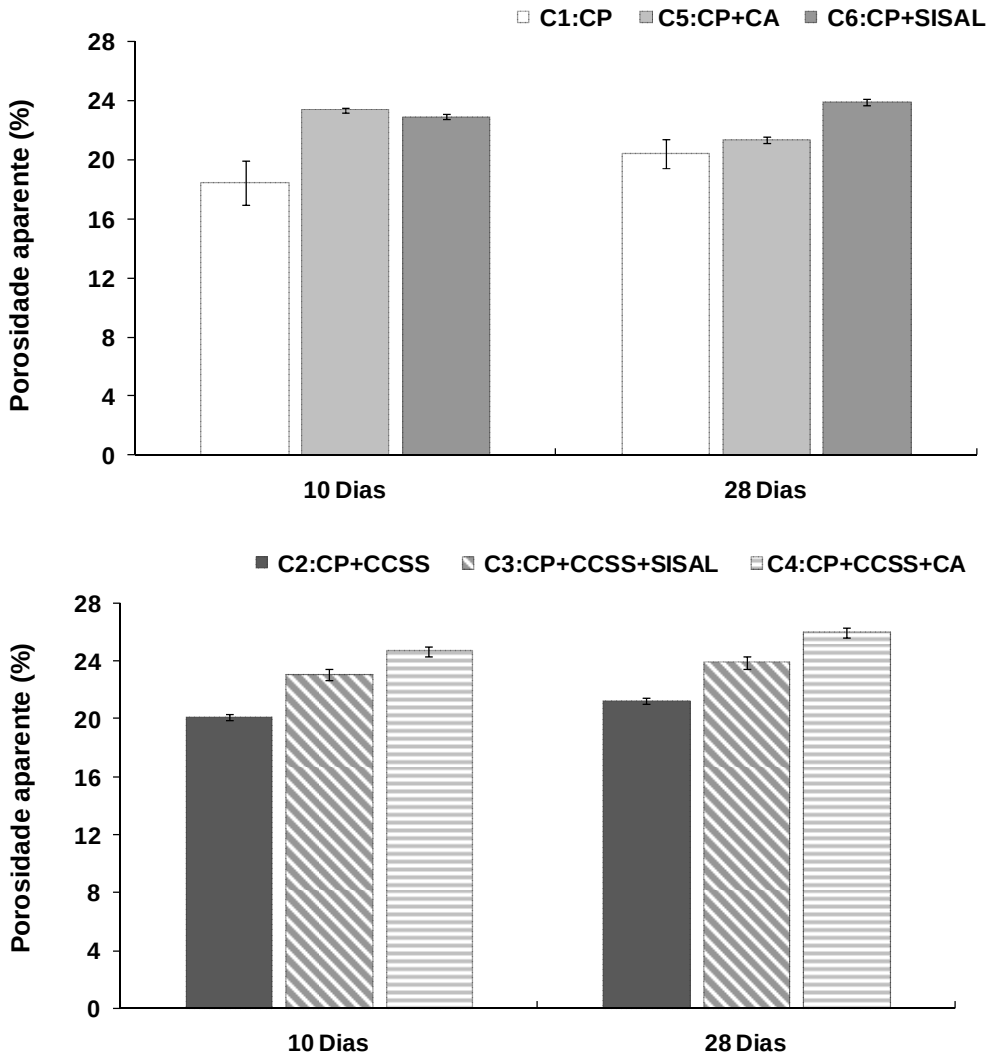


Figura 34 – Porosidade aparente dos compósitos C1, C5 e C6; C2, C3 e C4. (CP: cimento Portland; CCSS: cinza de cama sobreposta de suínos; CA: casca de arroz; SISAL: fibra curta de sisal).

Os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) e desvios padrões da porosidade aparente dos compósitos mostram que C1 e C2 apresentam resultados

próximos e inferiores aos demais compósitos, uma vez que o SISAL e a CA contribuem para o aumento da porosidade aparente.

A partir das figuras (32 a 34) pode-se observar que não houve mudanças significativas entre os resultados das idades 10 e 28 dias. Notou-se que o compósito C4 apresenta uma maior absorção de água, menor densidade aparente e maior porosidade aparente em relação ao compósito de referência (C1) e ao compósito (C2) também com adição de CCSS.

7.2.2.2 Caracterização mecânica

Na Figura 35 são apresentados os valores médios e os respectivos desvios padrões do módulo de ruptura (MOR). O MOR está relacionado com a resistência à tração na flexão e representa a tensão máxima atingida após o trincamento/fissuração do corpo-de-prova.

Os valores médios (Teste de Tukey, $P<0,05$) e desvios padrões mostram claramente que o compósito de referência (C1) apresenta um valor de MOR significativamente maior do que os outros compósitos.

Esta diferença indica que a introdução de CA e do SISAL gera defeitos na microestrutura do compósito. Adicionalmente, notou-se com C2 que a adição da CCSS na idade 28 dias se aproxima ao desempenho de C1.

Notou-se com o MOR, que comparando a adição da casca de arroz e da fibra de sisal, ocorre um melhor desempenho da fibra curta de sisal (C3 e C6). Os compósitos na idade 28 dias obtiveram melhores resultados.

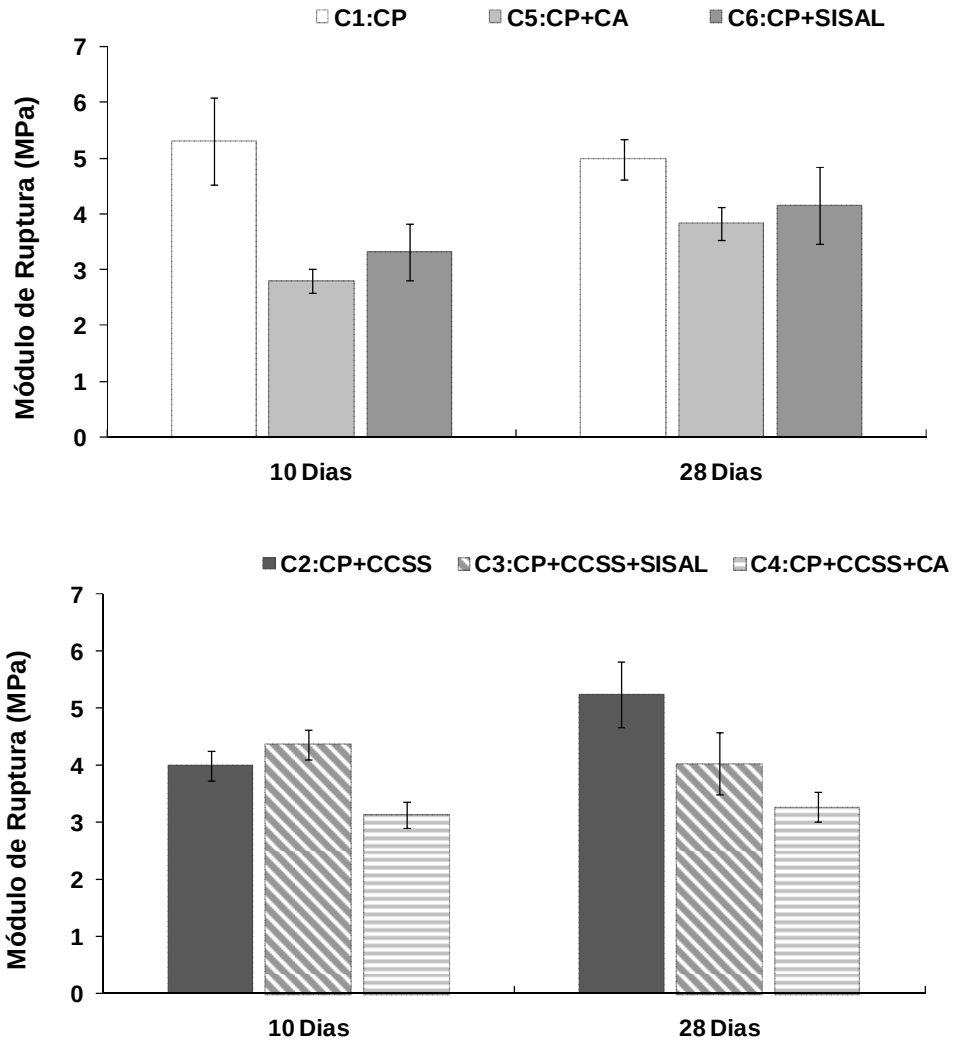


Figura 34 - Módulo de ruptura dos compósitos C1, C5 e C6; C2, C3 e C4. (CP: cimento Portland; CCSS: cinza de cama sobreposta de suínos; CA: casca de arroz; SISAL: fibra de sisal).

A Figura 35 mostra os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) e desvios padrões do limite de proporcionalidade (LOP). O limite de proporcionalidade (LOP) representa a tensão máxima atingida sob flexão, antes de o compósito sair do regime elástico.

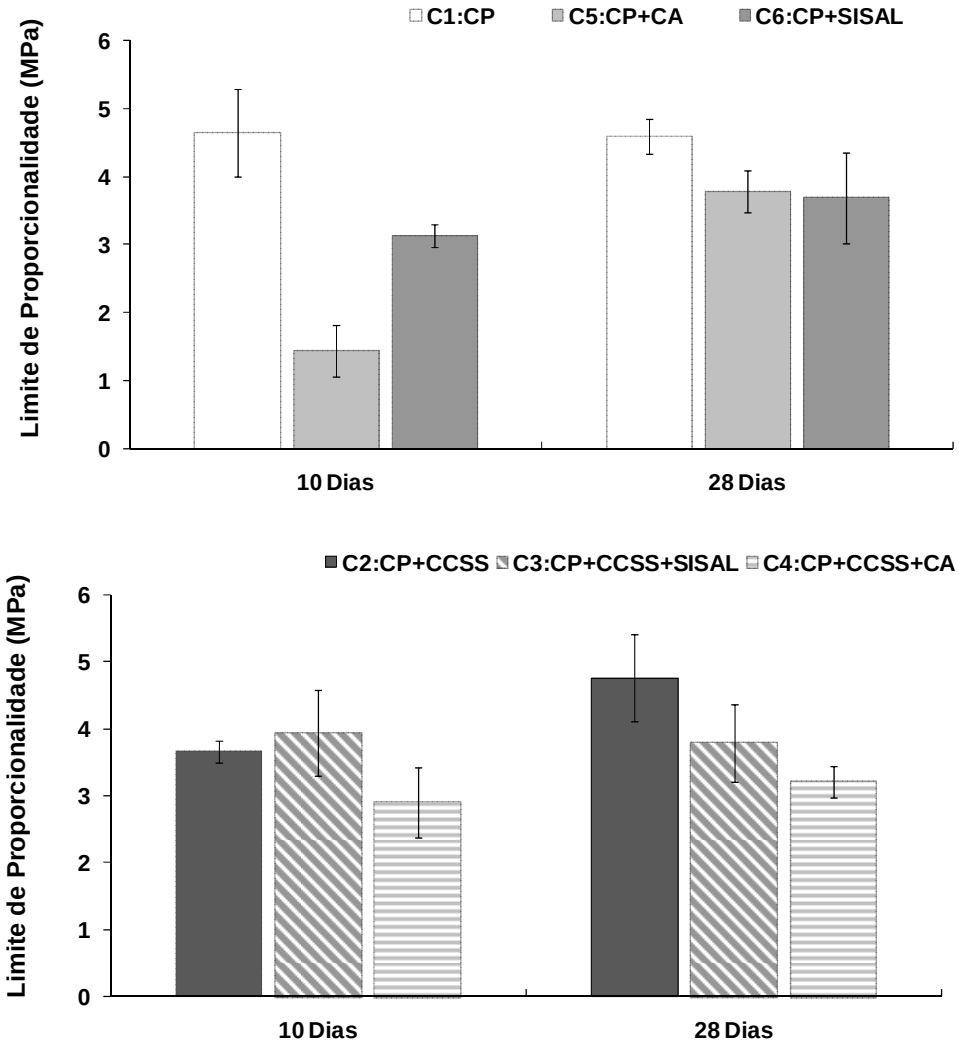


Figura 35 – Limite de proporcionalidade dos compósitos C1, C5 e C6; C2, C3 e C4. (CP: cimento Portland; CCSS: cinza de cama sobreposta de suínos; CA: casca de arroz; SISAL: fibra de sisal).

A diminuição do valor de LOP está relacionada com a introdução da CA e do SISAL na matriz do compósito. Notou-se que os compósitos contendo fibra curta de sisal C3 e C6 obtiveram melhores resultados se comparados aos contendo CA na idade de 10 dias, em 28 dias seus valores não diferiram estatísticamente (Teste de Tukey à P P<0,05).

A Figura 36 mostra os valores médios (Teste de Tukey, P<0,05) e desvios padrões do módulo elástico (MOE).

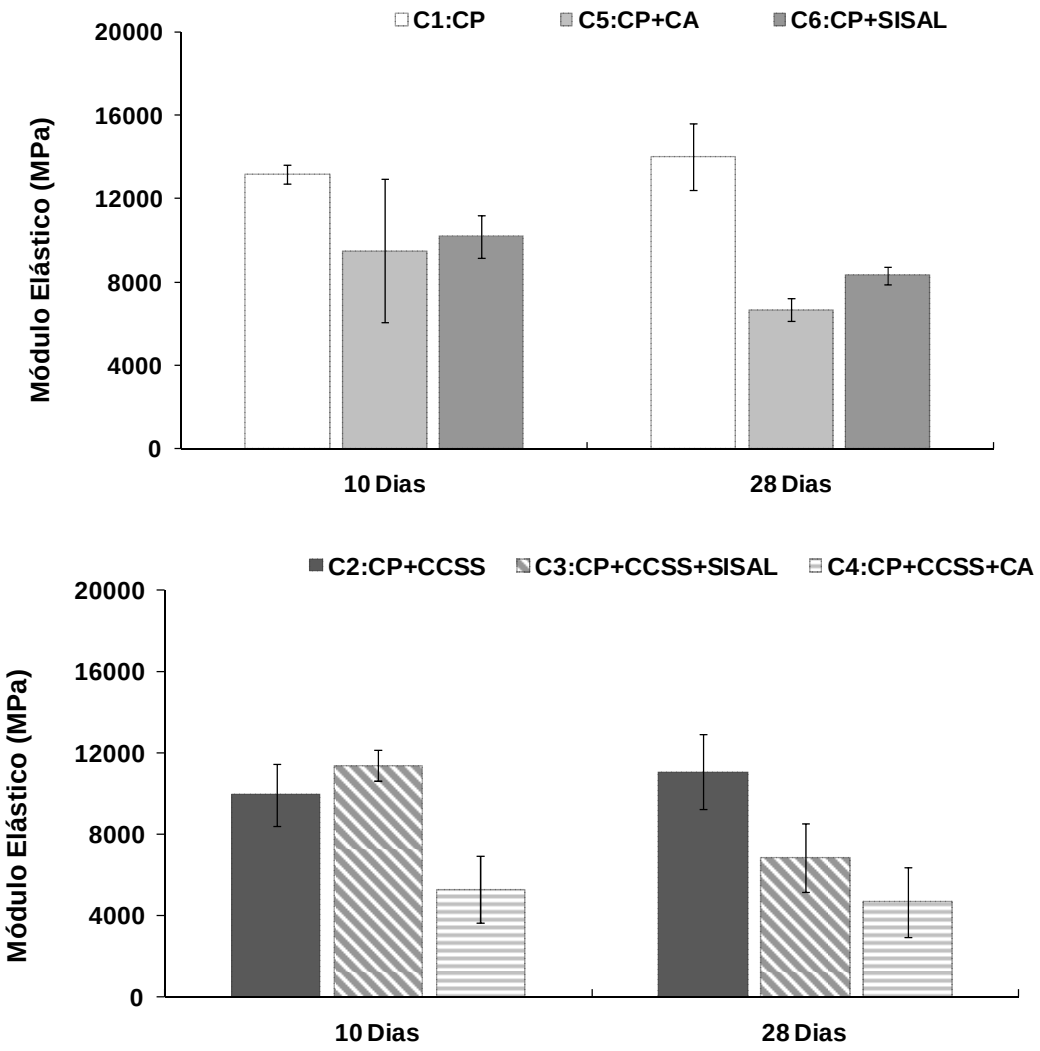


Figura 36 – Módulo elástico dos compósitos C1, C5 e C6; C2, C3 e C4. (CP: cimento Portland; CCSS: cinza de cama sobreposta de suínos; CA: casca de arroz; SISAL: fibra de sisal).

O módulo elástico (MOE) representa a rigidez do material. Esta propriedade está relacionada diretamente com a matriz do compósito. Com isso, a formulação de referência C1 e C2 tem uma matriz mais rígida do que os demais compósitos, ou seja, com menos defeitos críticos, a introdução da CA e do SISAL na matriz do compósito diminui o valor do MOE.

A Figura 37 mostra os valores médios (Teste de Tukey, $P<0,05$) e desvios padrões da energia específica (EE). A energia específica (EE) representa a

capacidade de absorver energia de impacto e, por conseqüência, está relacionada com a tenacidade do material.

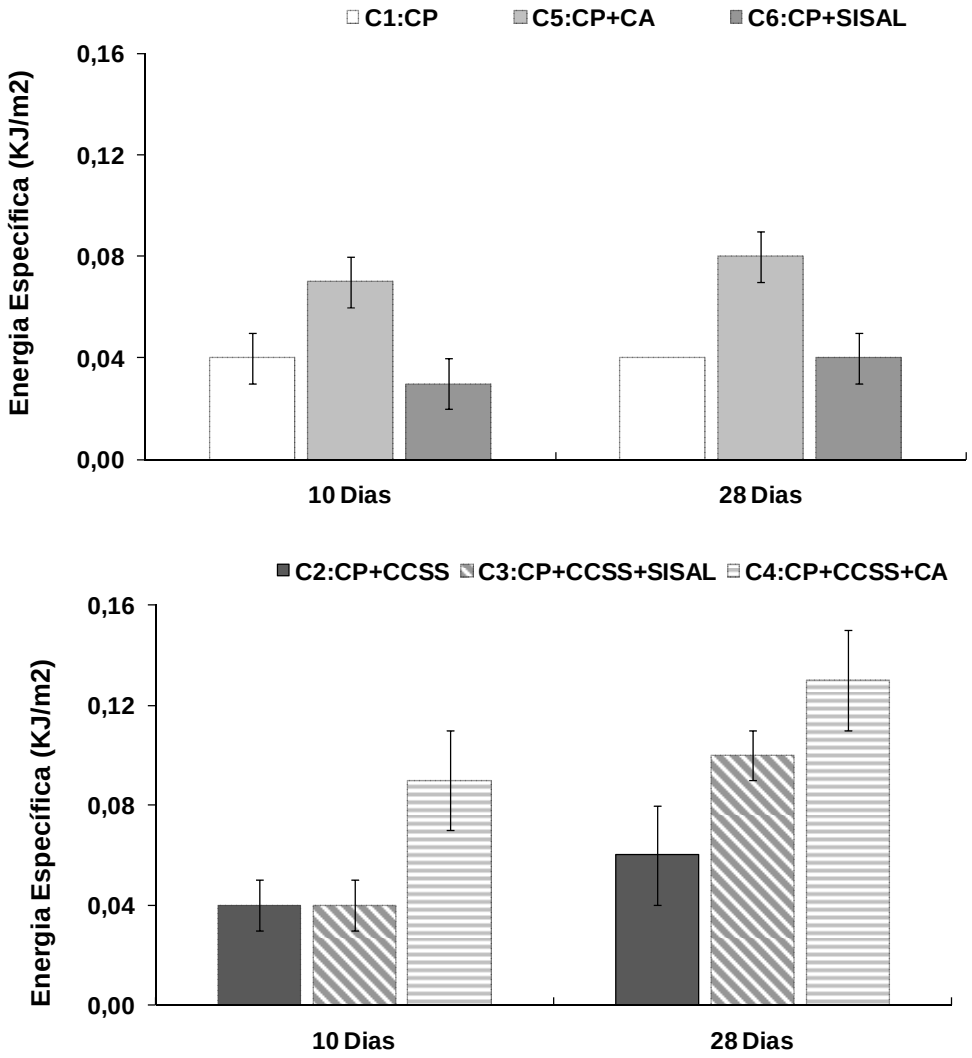


Figura 37 – Energia específica dos compósitos C1, C5 e C6; C2, C3 e C4. (CP: cimento Portland; CCSS: cinza de cama sobreposta de suínos; CA: casca de arroz; SISAL: fibra de sisal).

Observa-se que os compósitos com CA (C4 e C5) e SISAL (C3 e C6) têm uma maior tenacidade em relação aos compósitos C1 e C2, embora haja dispersão nos resultados. A formulação C3, C4 e C5 apresentaram melhor desempenho mecânico com relação à tenacidade do que os demais compósitos.

As características do compósito são fortemente determinadas pela interação matriz/fibra (adesão). A qualidade desta interação é determinada por parâmetros tais como a natureza do reforço e da matriz, a modificação da fibra e/ou matriz, bem como o método pelo qual o reforço é incorporado e as condições de processamento.

Com a análise dos resultados dos ensaios mecânicos pode-se constatar que o desempenho mecânico em geral dos compósitos com casca de arroz foi pior do que o compósito de referência, com exceção da energia específica. Notou-se também um melhor resultado do compósito C3 em todos os ensaios.

7.2.2.3 Considerações parciais

A análise dos resultados indica que a substituição do cimento pela cinza de cama sobreposta de suínos (CCSS) não prejudicou as características físicas do compósito C2 em relação ao controle (C1) sem adição da CCSS. O compósito C2 (CP+CCSS) obteve melhores resultados mecânicos em relação aos demais compósitos (C3, C4, C5 e C6) uma vez que apresentou superioridade para o módulo de ruptura, limite de proporcionalidade e módulo elástico.

Outro compósito que merece destaque é o C3 (CP+CCSS+SISAL) que apresentou resultados satisfatórios para todos os ensaios físicos e mecânicos. A interação do SISAL com a CCSS favoreceu o módulo de ruptura, o módulo elástico e o limite de proporcionalidade do compósito.

O compósito C4 (CP+CCSS+CA) apresenta uma maior absorção de água, menor densidade aparente e maior porosidade aparente em relação aos demais compósitos. Este resultado indica que a inclusão de 4% em massa de casca de arroz interfere significativamente nas propriedades físicas do compósito, a CA também aumentou a energia específica, estes resultados tratam-se de fatores favoráveis ao isolamento térmico para o piso do abrigo escamoteador para leitões.

Os compósitos C5 (CP+CA) e C6 (CP+SISAL) obtiveram resultados semelhantes aos demais compósitos contendo CA e SISAL para os ensaios físicos e mecânicos.

Por meio dos resultados expostos em relação à caracterização da matéria-prima utilizada e da caracterização física e mecânica dos compósitos estudados, conclui-se que CCSS contribuiu para melhora no desempenho dos compósitos em que foi inserida C2 (CP+CCSS), C3 (CP+CCSS+SISAL) e C4 (CP+CCSS+CA). Desta forma justifica-se a confecção das placas para piso escamoteador, a utilização destas formulações para análise do microclima interno dos abrigos escamoteadores.

7.2.3 Caracterização do microclima

Foram analisadas os seguintes índices de conforto: índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR), entalpia (H), calculados a partir das variáveis ambientais: temperatura ambiente, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura de globo negro e ponto de orvalho. Medidas no interior dos abrigos escamoteadores e dados externos (Estação Metereológica). Adotaram-se os três dias de menor entalpia para discussão.

7.2.3.1 Índices de conforto térmico

A comparação entre tratamentos e o ambiente externo (EM) na Tabela 10, são os resultados das médias dos índices estudados.

Tabela 10: Valores médios dos índices de conforto térmico, temperatura ambiente e umidade relativa para os tratamentos e ambiente externo

Ambiente	ITGU	CTR (Wm^2)	H ($kJ.kg^{-1}$)	TA (℃)	UR (%)
CCSS	75,52a	462,38a	70,39a	27,40a	58,75a
CCSS+SISAL	72,46b	454,57b	74,16b	28,19b	66,19b
CCSS+CA	75,83a	466,00c	70,40a	27,67a	56,79c
EM	75,99a	462,41a	65,52c	27,76a	60,58d

Valores médios com letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, P<0,01.

Em relação ao índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), houve diferença significativa entre os tratamentos, as temperaturas mantidas nas resistências e os períodos do dia, a 1% de probabilidade e a interação período e resistência a 5% de probabilidade. Os menores valores de ITGU foram para o tratamento CCSS+SISAL.

Na Figura 38, são apresentados os resultados dos contrastes ortogonais para a interação período e resistência, pode-se observar que ocorre um aumento linear (Figura 39) do ITGU com o aumento da temperatura da resistência.

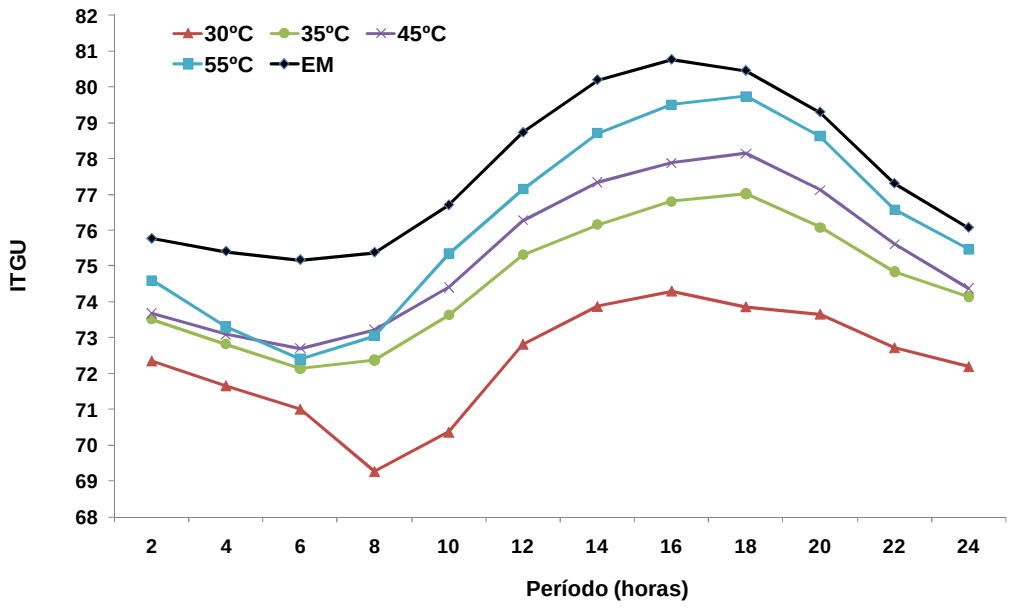


Figura 38 – Índice de temperatura de globo interação da resistência em relação aos períodos do dia.

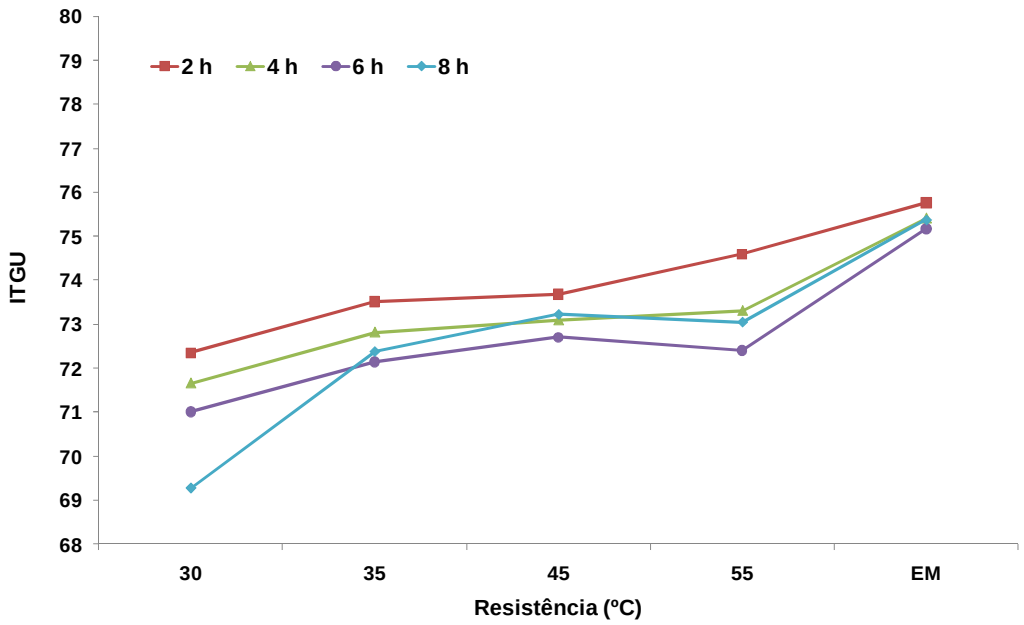


Figura 39 – Índice de temperatura de globo interação da resistência em relação aos períodos de menor entalpia do dia.

Os valores de ITGU não atingiram o ideal do índice 82 – 84 recomendado por (Necoechea, 1986) *apud* Pandorfi (2002). A variação do ITGU na resistência 55℃ foi o que apresentou valores mais próximos do ideal.

Para a carga térmica radiante (CTR), houve diferença significativa entre os tratamentos, as temperaturas das resistências e os períodos do dia, a 1% de probabilidade e a interação resistência e tratamento como para período e resistência a 5% de probabilidade.

Na interação período e resistência (Figura 40), a CTR em relação às temperaturas das resistências com exceção da 30℃ a presentou valores considerados próximos ao ideal 450 Wm^2 (Baêta e Souza, 1997) *apud* Pandorfi (2002).

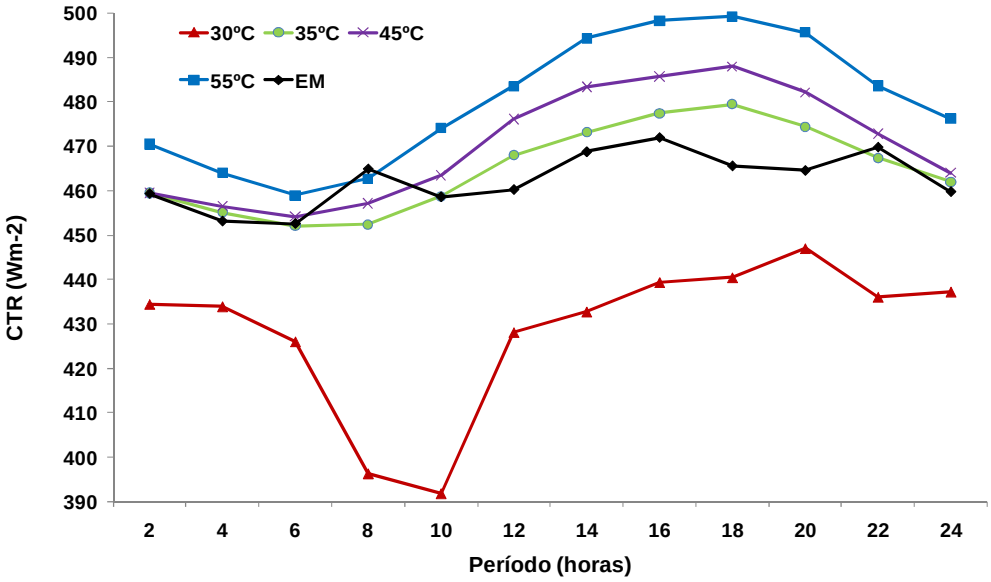


Figura 40 – Carga térmica radiante interação resistência em relação aos períodos do dia.

Nota-se que os resultados dos contrastes ortogonais para a interação período e resistência, apresentam um aumento linear da CTR com o aumento da temperatura da resistência (Figura 41).

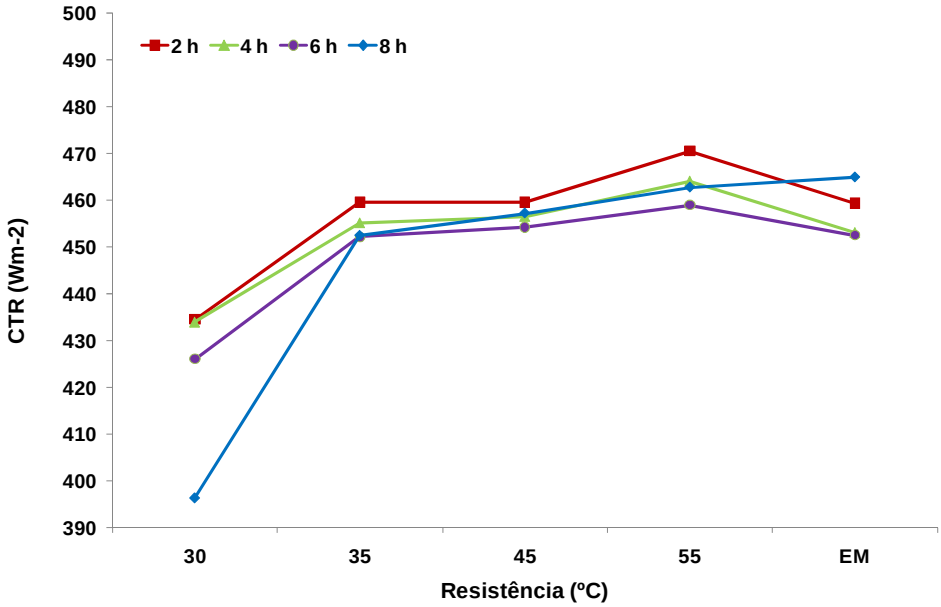


Figura 41 – Carga térmica radiante interação resistência em relação aos períodos de menor entalpia do dia.

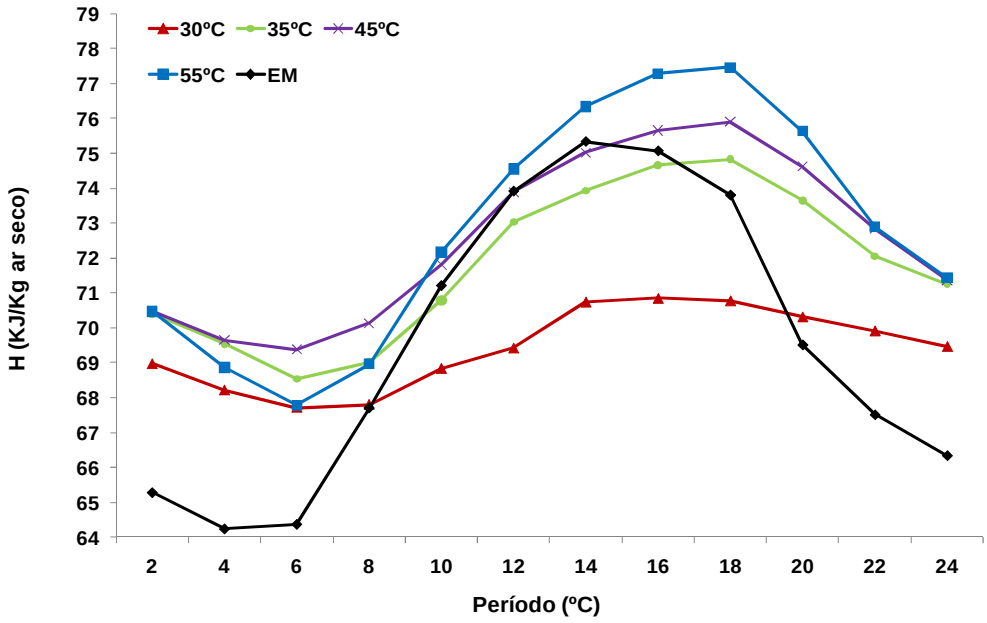
Em relação à entalpia (H), houve diferença significativa entre os tratamentos, as resistências e os períodos do dia, a 1% de probabilidade e nas interações resistência e tratamento, período e tratamento e período e resistência a 5% de probabilidade. Na interação resistência e tratamento (Tabela 11), não há efeito significativo para a resistência 30℃, esta obteve os menores valores para H.

Tabela 11: Valores médios da interação tratamento e resistência para a entalpia.

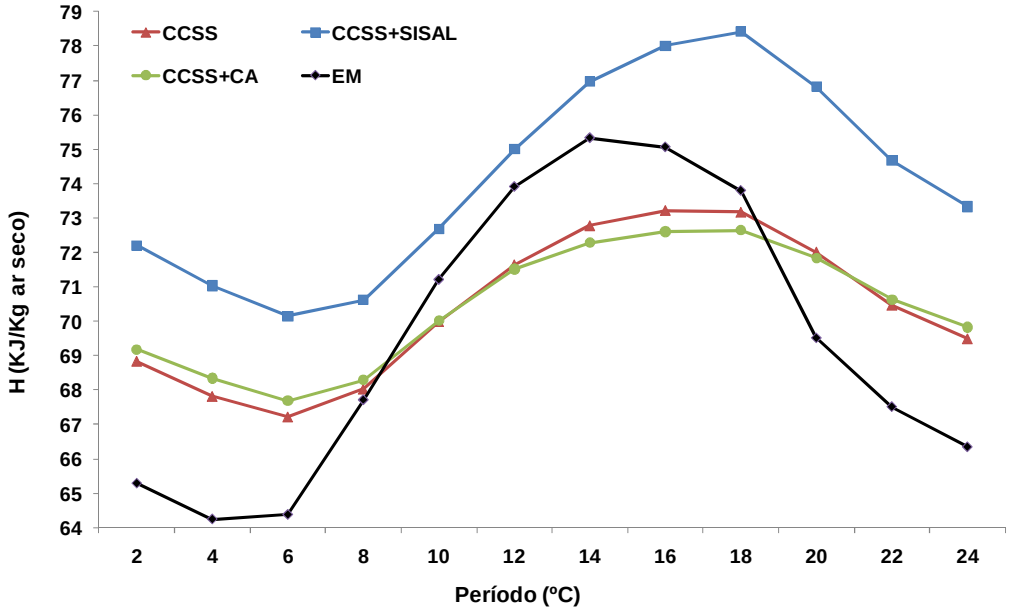
	30	35	45	55	
CCSS	68,85a	70,89a	71,26a	70,56a	70,39
CCSS+SISAL	70,02a	73,77bc	75,42bc	77,41bc	74,16
CCSS+CA	69,37a	70,75ad	71,00ad	70,49ad	70,40
	69,41	71,80	72,5603	72,8197	

Valores médios com letras diferentes nas colunas se diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, P<0,01.

Na Figura 42 estão apresentados valores médios da H nas interações período e resistência e período e tratamentos juntamente com o ambiente externo.



(a)



(b)

Figura 42 – (a) Interação período e resistência; (b) Interação período e tratamentos.

Os valores de H foram calculados com base nas condições 32-30℃, 28-27℃, 26-25℃ e 24-22℃ e umidade relativa de 70%. Nota-s e que os resultados dos contrastes ortogonais para a interação período e resistência resulta em um aumento linear da H com o aumento da temperatura da resistência.

Os comportamentos das curvas são semelhantes, os dados de H encontram-se na faixa recomendada para os leitões, porém não o valor recomendado para o nascimento (78,9 – 83,4). O tratamento CCSS+SISAL apresenta os melhores resultados nos períodos do dia. O mesmo ocorre para a resistência a 55℃ que consegue aquecer de maneira mais eficiente o piso do escamoteador.

Em relação à temperatura ambiente (TA), houve diferença significativa entre os tratamentos, as resistências e os períodos do dia, a 1% de probabilidade e na interação período e resistência (Figura 43) a 5% de probabilidade.

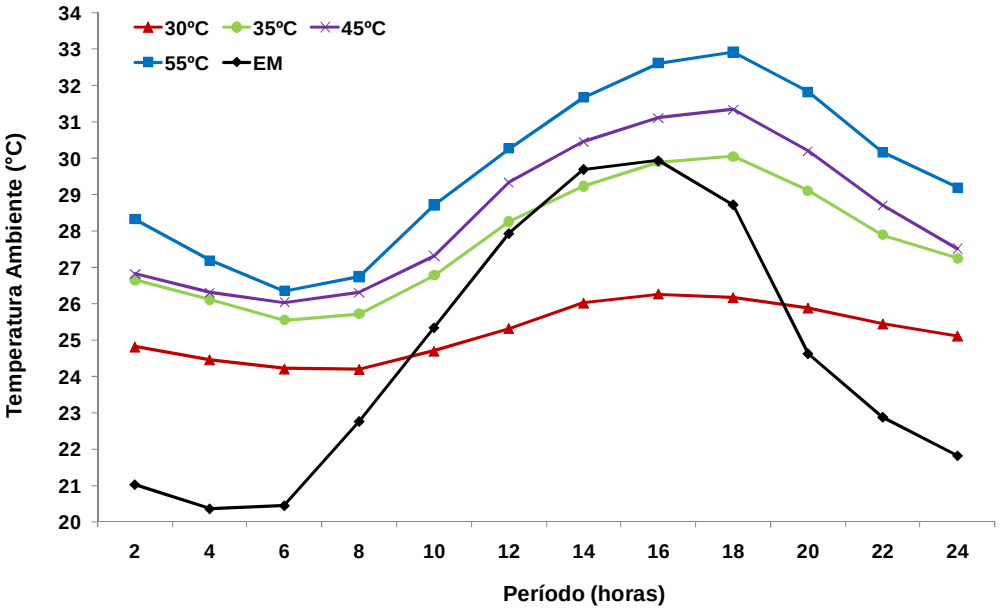


Figura 43 – Interação período e resistência para a temperatura ambiente.

Nota-se que a temperatura dentro dos abrigos escamoteadores em sua maioria foi superior à do ambiente externo (EM), com exceção dos valores obtidos pela resistência 30℃. Os valores de 55℃ foram os melhores para os primeiros dias de vida para o leitão, como apresentado anteriormente na Tabela 1.

Em relação à umidade relativa (UR), houve diferença significativa entre os tratamentos, as resistências e os períodos do dia, a 1% de probabilidade e nas interações resistência e tratamento (Tabela 12), período e tratamento e período e resistência a 5% de probabilidade.

Tabela 12: Valores médios da interação tratamento e resistência para a umidade relativa.

	30	35	45	55	
CCSS	72,50a	60,42a	56,88a	45,20a	58,75
CCSS+SISAL	69,91a	65,70a	65,20a	63,96bc	66,19
CCSS+CA	72,23a	57,26a	53,96a	43,70ad	56,79
	71,55	61,13	58,68	50,95	

Valores médios com letras diferentes nas colunas se diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, P<0,01.

Nas próximas Figuras estão apresentados valores médios da UR nas interações período e resistência e período e tratamentos juntamente com o ambiente externo. A faixa de valor para a umidade relativa considerada para análise dos resultados é a apresentada na Tabela 1 (60-70%). Nota-se que os comportamentos das curvas são semelhantes, os dados da UR para as resistências 30℃ e 35℃ encontram-se na faixa recomendada (Figura 44).

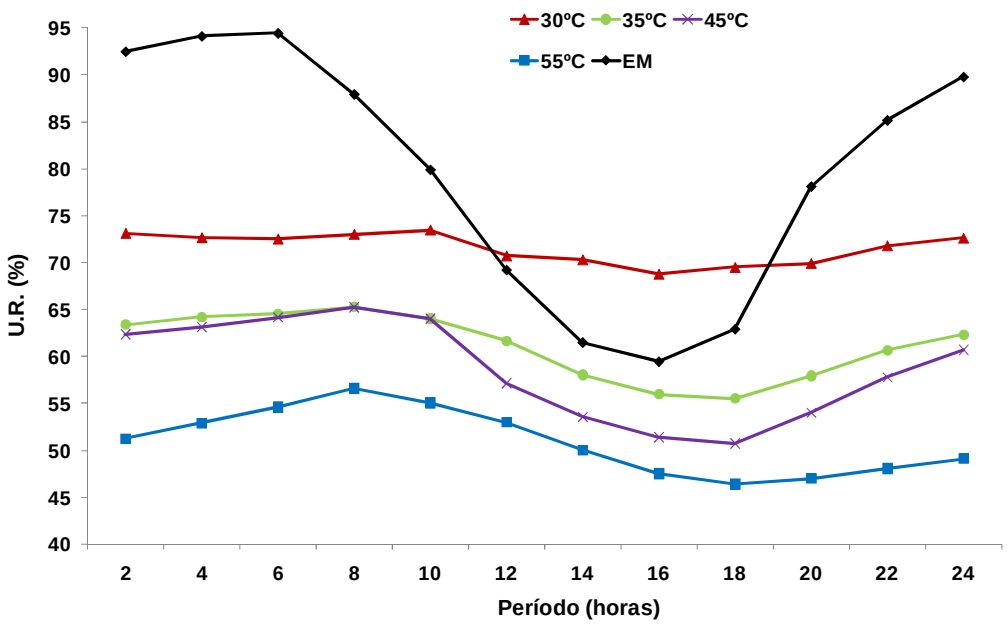


Figura 44 – Interação período e resistência para a umidade relativa.

Observa-se que a UR externa foi superior em maior parte do período, e que a UR interna obteve menor amplitude. O tratamento CCSS+SISAL apresentou os melhores resultados em relação aos períodos do dia (Figura 45).

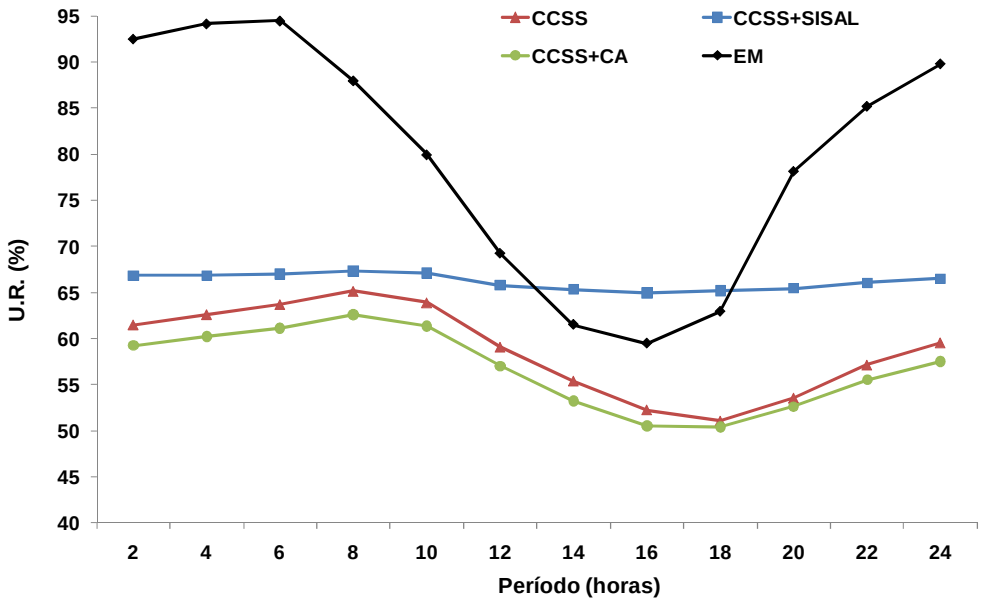


Figura 45 – Interação período e tratamento para a umidade relativa.

7.2.3.2 Considerações parciais

O índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) apresentou variação significativa entre os tratamentos estudados, sendo que o compósito com adição de CCSS apresentou o melhor resultado seguido por CCSS+CA e CCSS+SISAL nos contrastes ortogonais. Por meio de valores médios, pode-se verificar que o ambiente proporcionado pela resistência à 55℃ apresentou o melhor resultado.

Houve diferença significativa entre os tratamentos em relação à carga térmica radiante (CTR), o mesmo ocorre para as resistências. Com exceção do ambiente

proporcionado pela resistência 30℃, o índice apresentou valores considerados ideais.

Os valores médios da entalpia (H) apresentaram resultados que apontam diferenças estatísticas entre todos os tratamentos. O maior valor verificado foi para o tratamento CCSS+SISAL, seguido por CCSS e CCSS+CA respectivamente. A resistência com maior valor foi a 55℃ e decresce com a diminuição da temperatura.

A maior temperatura ambiente (TA) obtida foi no tratamento CCSS+SISAL, sendo que todos os valores dos tratamentos foram superiores à do ambiente externo. De forma geral, pode-se dizer que, para a zona de conforto térmico para os leitões na fase da maternidade, foi estabelecida em sua maioria. O ambiente proporcionado pela resistência 30℃ esteve abaixo da condição recomendada, principalmente na primeira semana de vida dos animais.

O tratamento CCSS+SISAL manteve-se na faixa recomendada para o índice de umidade relativa (UR) quando relacionado a todas as temperaturas da resistência.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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

- Os resultados obtidos da análise de caracterização química, difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, massa específica e distribuição granulométrica atingiu o objetivo da utilização da cinza da cama sobreposta de suínos como material de substituição parcial em 30% do cimento Portland.
- A substituição do cimento pela cinza de cama sobreposta de suínos (CCSS) melhorou as características físicas e mecânicas dos compósitos.
- A fibra curta de sisal proporcionou resultados satisfatórios para todos os ensaios físicos e mecânicos, favorecendo o módulo elástico, o limite de proporcionalidade do compósito e sua porosidade aparente.
- A casca de arroz obteve bons resultados físicos e mecânicos, destacando-se o aumento da porosidade aparente, fator favorável ao isolamento térmico para o piso do abrigo escamoteador para leitões.
- Os índices de conforto térmico dentro dos abrigos escamoteadores ficaram em parte abaixo do recomendado para leitões, quando testados em laboratório.
- Os resultados dos materiais estudados, e dos índices de conforto térmico, validam a utilização dos materiais cinza de cama sobreposta de suínos, fibra curta de sisal e casca de arroz para placas de piso para abrigos escamoteadores, associada ao uso da resistência com temperatura superior a 35℃.
- Tendo como base os resultados obtidos na caracterização física e mecânica dos compósitos e nos obtidos na caracterização do microclima dos abrigos escamoteadores conclui-se que o melhor tratamento testado foi CCSS+SISAL e a temperatura de resistência a 55℃.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. H. S. P. Retrospectiva do mercado de suínos em 2009. **PORKWORLD** redação em 12 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/default.php?acao=documento&cod=8634>. Acesso em 20 fev. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM C618-03**. Standart specification for coal fly and raw or calcined natural possolan for use as a mineral admixture in concrete, West Conshohocken, 2003.

ANGRIZANI, C. A. Influência do comprimento da fibra de sisal e do seu tratamento químico nas propriedades de compósitos com poliéster. **17ºCBECIMat** – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil,** 2001. Disponível em: <www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf>. Acesso em 28 jul. 2008.

ANJOS, M. A. S. dos; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P. Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz. **Rev. bras. eng. agríc. ambient**., Campina Grande, v. 7, n. 2, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Básico sobre o cimento**, 2005. Disponível em : <http://www.abcp.org.br/>. Acesso em 10 de set. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7214**: Areia Normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro, 1982 .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto 18:406.03** (Placa Plana Cimentícia Sem Amianto – Requisitos e Métodos de Ensaio).

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Avaliação Direta e Prática - Caracterização do Ambiente Interno de Galpões de Criação de Frangos de Corte Utilizando Tabelas Práticas de Entalpia. **Avicultura Industrial**, v. 1144, p. 54 - 57, 04 jul. 2006.

BUFFINGTON, D.E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-14, 1981.

CASTRO, H. f.; MURGAS, L. D. S. N. Manejo na maternidade de suínos. Núcleo de estudos em Suinocultura – NESUI. **Boletim Técnico**. Disponível em: <http://www.nucleoestudo.ufla.br/nesui/boletins.htm>. Acesso em 15 de set. 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Estudo de diferentes configurações de moagem mecânica para produção de cinza ultrafina do

bagaço de cana-de-açúcar. In: Conferência Brasileira sobre Matérias e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustável BRASIL NOCMAT 2006 – Salvador, BA. **Anais...** CD-ROM.

CORRÊA, E. K. **Avaliação de diferentes tipos de cama na criação de suínos em crescimento e terminação.** 1998. 105f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, p.105, 1998.

DAFICO, D. A. **Método de produção de cinza de casca de arroz para utilização em concretos de alto desempenho.** Disponível em: <http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Dario_Resumo.pdf>. Acesso em 29 de junho de 2009.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de Cinza de Casca de Arroz para Uso como Matéria-Prima na Fabricação de Refratários. Artigo. **Rev. Química Nova**, Vol. 24, No. 6, 778-782, 2001.

DI CAMPOS, M. S. et al. Uso de isolante térmico em um galpão de suínos para a avaliação do conforto térmico, 2005a. **Anais do ZOOTEC'2005** - 24 a 27 de maio de 2005 – Campo Grande - MS.

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, 2005b.

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. 156f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.

EIRICH. O. **Os suínos também são afetados.** Disponível em: <http://www.coamo.com.br>. Acesso em 07 de set. 2006.

EMBRAPA **Importância Econômica, Agrícola e Alimentar do Arroz**. 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap01.htm>. Acesso em: 27 de mar. 2008.

EMBRAPA **Origem e História do Arroz**. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/arroz/historia.htm>. Acesso em 29 de jul. 2008.

ESMAY, M.L. Principles of animal environment. Westport: **Avi Publishing Company Inc**, 1982. 325p.

FERREIRA, R. C.; GOBO, J. C. C.; CUNHA, A. H. N. Incorporação de casca de arroz e de Braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.1-11, jan./mar. 2008.

FERRO, W. P.; SILVA, L. G. A. Uso da Cinza da Casca de Arroz como Carga em Matrizes de Poliamida 6 e Poliamida 6.6. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, nº 3, p. 240-243, 2007.

FOLETTO E. D. et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Rev. Química Nova**, Vol. 28, No. 6, 1055-1060, 2005.

FRAGA A. L. et al. Avaliação da casca de arroz como ingrediente de rações em programas de restrição alimentar qualitativa para suínos em terminação. **UNIMAR CIÊNCIAS**, Publicação científica da Universidade de Marília. VOL. XIV (1-2), 39-45p. 2005.

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: XIII Congresso interno de iniciação científica da UNICAMP, 13., 2005. Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2005. Não paginado.

FURLAN, R. A. **Avaliação da nebulização e abertura de cortinas na redução da temperatura do ar em ambiente protegido.** 2001. 146f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2001.

GAVA, G. P. **Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação de atividade pozolânica.** 1999. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1999.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, N. P. (1999). Behaviour of Composite Soil Reinforced with Natural Fibres. **Cement and Concrete Composite**, vol.21, p. 39-48.

HEINRIKS, H. et al.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.

HIGARASHI, M. M. et al. Produção de leitões em fase de creche em sistema de cama sobreposta. **A Lavoura**, junho de 2005. Disponível em : <http://www.sna.agr.br/artigos/653/SUINOCULTURA.pdf>. Acesso em 17 jul. 2008.

HIGARASHI, M. M. et al. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.3, p.311–317, 2008.

HOPPE, T. F. **Resistividade elétrica de concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz.** 2005. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

IRGA. Exportações de arroz já superam recorde de 2008. **Canal Rural** redação em 10 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.clicrbs.com.br/canal-rural/jsp/default.jsp?uf=2&local=18&action=noticias&id=2805348&section=Capa>. Acesso em 19 fev. 2010.

JONG, I.C.de et al. Effects of strawbedding on physiological responses to stressors and behavior in growing pigs. **Ohysiology & Behaviour**, v. 64,n.3, pp. 303-310, 1998.

LIBÓRIO, J. B. L. Avanços tecnológicos dos concretos estruturais nos últimos 30 anos. In: **IBRACON 30 ANOS**, 2002. São Paulo Ibracon.

LUCATO. **Características do arroz**. 2005. Disponível em: <http://www.lucato.com.br>. Acesso em: 21 jun. 2008.

LUZ, C. A.; CHERIAF, M.; ROCHA, J. C.; AMBROISE, J.; PÊRA, J.; Formulação e Aplicações de um Cimento de Baixo Impacto Ambiental (BIA) Obtido com o Fosfogesso Reciclado e com o Clínquer Sulfo- Aluminoso. **Revista Matéria**, v. 10, n. 3, pp. 392 – 412, 2005.

MANTUANO NETTO, R. **Materiais Pozolânicos**. 2006. 149f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais – MG, 2006.

MARTINEZ R. G. **Placas Pré-Moldadas de Argamassa Armada e Casca de Arroz.** 2003. 96f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2003.

MEGIATTO JR., J. D. Fibras de Sisal: **Estudo de propriedades e modificações químicas visando aplicação em compósitos de matriz fenólica.** 2006. 272 f. Tese (Doutorado) Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2006.

MESA VALENCIANO, M. del C. **Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento.** 1999. 102f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

MOREIRA, A. H.; OLIVEIRA, R. M.; LIMA, P. D. S.. Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção. **Cerâmica,** São Paulo, v. 47, n. 303, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669132001000300006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 Sep 2008.

NAIR, D. G.; JAGADISH, K. S.; FRAAIJ, A. Reactive pozzolanas from Rice husk ash: An alternative to cement for rural housing. **In CEMENT and CONCRETE RESEARCH**, v.36, p. 1062-1071, 2006.

NICKS, B.; DESIRON, A.; CANART, B. Bilan environnemental et zootechnique de l'engraissement de quatre lots de porcs sur litière biomaîtrisée. **Journées de Rech. Porcine en France**, 27, 337–342, 1995.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **A escolha do sistema para o manejo dos dejetos de suínos: uma difícil decisão.** Artigo, 2000. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/artigos>. Acesso em: 08 set. 2006.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral.** Thèse de Docteur, No: 9–4, D–2, l' ENSA de Rennes, France, 272 p., 1999.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Sistema de produção de suíno em cama sobreposta "Deep Bedding". 2001. **9o Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura Gramado**, RS. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br>. Acesso em: 17 jun. 2008.

OLIVEIRA, J. M. Aglomerado da casca de arroz. **SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS – SBRT.** Disponível em: < http://sbrtv1.ibict.br/up-load/sbrt6493.pdf?PHPSESSID=eacfd0394bf9cff61879b31265f473ef>. Acesso em: 12 jul. 2008.

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

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, maio/ago. 2004.

PEREIRA, C. L. **Avaliação do conforto térmico e do desempenho de frangos de confinados em galpão avícola com diferentes tipos coberturas.** 2006. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.

PÉREZ P. G. N.; DI CAMPOS M. S.; SALIN M. M.; TONOLI G. H.D. Desempenho de cinzas de cama sobreposta de suíno como substituição parcial do cimento Portland

com adição de fibras. In: 13. Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, 2005, São Carlos. **Anais do 13º Siicusp.** São Paulo: USP, 2005. v. 1. p. 1-1.

PIRASSUNUNGA – Portal do Município, Mapa e Localização. Disponível em : <http://pirassununga.municipios.sp.gov.br/portal/site/municipios/menuitem.5e018b33880e19e3b46a1c76e2308ca0/?vgnextoid=5e6c645ed0f24210VgnVCM1000004c03c80aRCRD >. Acesso em 10 fev. 2010.

POSSAN, E.; VENQUIARUTO, S. D.; MOLIN, D. C. C. D. Adição de cinza de casca de arroz no concreto: benefícios de durabilidade. **VI Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura** (ENTECA), 2007.

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.

RADICCHI, B. **Pesquisa sobre cimento promete reduzir emissão de poluentes**. 2002. Disponível em: <http://www.cnpq.br/noticias/050902.htm>. Acesso em: 22 dez. 2007.

REGO, J. H. S. – “Estudo de Aglomerantes compostos por cimento portland comum (CPI) e as cinzas de CA amorfa e cristalina”. **46° Congresso Brasileiro do Concreto.** Florianópolis. IBRACON, 2004.

REGO, J. H. S.; NEPOMUCENO, A. A.; PAZINI, E. J. F.; VIEIRA, F. L. Estudo da viabilidade da utilização da cinza de casca de arroz (CCA) residual como adição mineral ao cimento. In: Conferência Brasileira sobre Matérias e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustável BRASIL NOCMAT 2006 – Salvador, BA. **Anais...**CD-ROM.

ROBIN, P.; OLIVEIRA, P. A. V. de; KERMARREC, C. Productions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de procs durant la phase de croissance. **Journées Rech.** Porcine en France, 30, 111–115, 1999.

RUDNICK, L. **Controle da diarréia suína no período de aleitamento através do fornecimento de gemas de ovos de galinhas hiperimunizadas contra Escherichia coli suína.** 2003. 91f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SALES, A. T. C.; GHAVAMI, K. Materiais não-convencionais usando fibras vegetais em compósitos cimentícios. In: IAC-NOCMAT 2003, 2003, João Pessoa. **CD do IAC-NOCMAT 2003.** Rio de Janeiro-RJ: Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias não Convencionais, 2003.

SAMPAIO, C. A. P. **Caracterização dos ambientes térmico, aéreo e acústico em sistemas de produção de suínos, nas fases de creche e terminação.** 2004. 151f. Dissertação (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP. 2004.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos.** 1997.113f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 1997.

SANTOS, S. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** 2006. 285f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianóplos – SC, 2006.

SARTOR, V.; BAÊTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F. Efeito de modificações ambientais de verão nos índices de conforto térmico, em maternidades de suínos. In: Congresso

Brasileiro de Engenharia Agrícola, 29, 2000, Fortaleza/CE. **Anais...** Fortaleza: SBEA, 2000. (Em CD-ROM).

SARTOR, V. et al. Efeito do resfriamento evaporativo no desempenho de suínos em fase de terminação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.11, 58 n.1-4, Jan./Dez., 2003.

SAS Institute Inc. 2004. SAS OnlineDoc® 9.1.3. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SAVASTANO, JR., H., AGOPYAN V., OLIVEIRA L. Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.1, p. 113-124, set. 1997.

SAVASTANO, JR. H **Material a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para construção de baixo custo**. 2000. 152 f. Tese (Livre- Docência) Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2000.

SCOLARI, T. M. G. **Embrapa apresenta sistema de produção de suínos em cama sobreposta.** Redação em 01/06/2001. Disponível em: <http://www.embrapa.gov.br/noticias/banco_de_noticias/2001/junho/bn.2004-11-25.5229838898/mostra_noticia>. Acesso em: 20 ago. de 2006.

SILVA , I .J. O. Sistemas Naturais e Artificiais do controle do ambiente – Climatização**. In: SILVA, I.J.O. (ED) Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos.** Piracicaba: Fundação de estudos agrários “Luiz de Queiroz”, 1999. P 81-112.

SILVA, J. QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos.** 3ed., Viçosa: UFV, 2002. 235p. Il.

SILVA, E. J.; TASHIMA, M. M. AKASAKI, J. L. Estudo de reações expansivas em argamassas de cimento Portland com cinza de casca de arroz (CCA). **HOLOS Environment,** v.7 n.1, 2007. Disponível em: <http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/holos/article/view/974/905>. Acesso em 3 abr. 2008.

SOUZA J. Avaliação de argamassas com cinza e casca de arroz. In: 51° **Congresso Brasileiro de Cerâmica.** 2007. Salvador, BA. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/51cbc/artigos/51cbc-14-04.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2008.

TOLEDO FILHO, R. D.; ENGLAND, G.L ; GHAVAMI, K . Comportamento em Compressão de Argamassas Reforçadas com Fibras Naturais - Parte A: Relação Tensão-Deformação Experimental e Processo de Fratura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 01, n. 01, p. 79-88, 1997.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. The Use of sisal fibre as reinforcement in cement based composites. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - Pb, v. Vol. 3, n. No. 2, p. 245-256, 1999.

TOLON, Y. B.; NÄÄS, I. A. Avaliação de tipos de ventilação em maternidade de suínos. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.25, n.3, p.565-574, set./dez. 2005.

TONOLI, G. H. D. **Aspectos produtivos e análise do desempenho do fibrocimento sem amianto no desenvolvimento de Tecnologia para telhas onduladas.** 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.

TROJAL, J. H. V. **Termorregulação de Eqüinos em uma construção rural feita com blocos vazados de argamassa de cimento, areia e casca de arroz.** 2002.

163 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual Paulista, Campinas, 2002.

VENTURA, O. S. P. Caracterização mecânica em flexão de compósitos de argamassa de cimento reforçada por fibras naturais. **17ºCBECIMat** – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

VILLAR-COCIÑA E. et al. Kinetics of the pozzolanic reaction between lime and sugar cane straw ash by electrical condutivity measurement: A kinetic-diffusive model. **CEMENT AND CONCRETE RESEARCH,** v. 33, 517–524 p., 2003.

VOERMANS JAM, MONTENY G, editors. Procs. of the Intl. Symp. On Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, Vinkeloord, The Netherlands. Rosmalen. **The Netherlands: NVTL** 1. p 23-34, 1997.

VARSHNEY, R.S., **Concrete technology.** Oxford: IBH Company, 1982.

WARNER, M.; **Analytical Chemistry,** (1989) 61, 287A.

ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósito à base de cimento e casca de arroz.** 1999. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.