



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

DISSERTAÇÃO MESTRADO
“PLACAS PRÉ – MOLDADAS DE ARGAMASSA
ARMADA E CASCA DE ARROZ”

RUBENS GARGIULO MARTINEZ

CAMPINA GRANDE

AGOSTO / 2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

“PLACAS PRÉ –MOLDADAS DE ARGAMASSA ARMADA E
CASCA DE ARROZ”

Rubens Gargiulo Martinez

Orientador: Prof. Dr. José de Souza Nogueira

Orientador: Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira

Campina Grande, PB

2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**“PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE ARGAMASSA ARMADA E
CASCA DE ARROZ”**

Rubens Gargiulo Martinez

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal de Campina Grande - PB, para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José de Souza Nogueira

Orientador: Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira

Campina Grande, PB

2006

Martinez, Rubens Gargiulo

Placas Pré-Moldadas de Argamassa Armada e Casca de Arroz / Rubens Gargiulo Martinez. -- Campina Grande. UFCG, 2003.

96 p. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) UFCG/CCT. DEC.

Bibliografia: p. 91-96

1. Moradia de baixo custo - Construção. 2. Compósito - Engenharia Civil. 3. Casca de Arroz - Engenharia Civil. 4. Argamassa Armada - Engenharia Civil.

CDU: 691.1

“PLACAS PRÉ –MOLDADAS DE ARGAMASSA ARMADA E CASCA DE ARROZ”

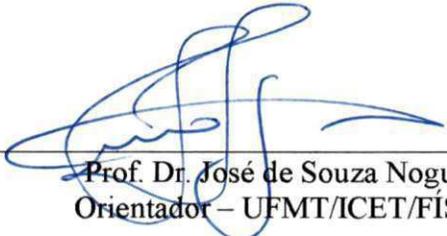
Rubens Gargiulo Martinez

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campinas Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

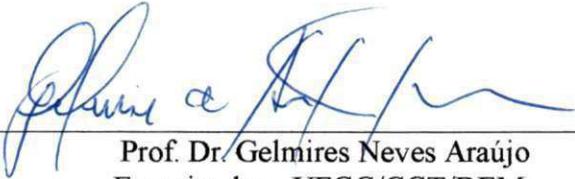
Dissertação aprovada por:



Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira
Orientador – UFCG/CCT/DEMa



Prof. Dr. José de Souza Nogueira
Orientador – UFMT/ICET/FÍSICA



Prof. Dr. Gelmires Neves Araújo
Examinador - UFCG/CCT/DEMa



Prof. Dr. Wilson Conciani
Examinador – CEFET-MT

Campina Grande - PB
2003

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

A Deus pela vida, amor e oportunidades.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, pela orientação e principalmente pelo incentivo, apoio, confiança e grande amizade, ingredientes que possibilitaram a realização deste trabalho.

A Prof. Dr^a. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pelas suas sugestões e amizade.

Ao Prof. Dr. Wilson Conciani, pela orientação e grande trabalho feito para a realização deste curso de mestrado.

Ao Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira, pela orientação crítica, fundamental à execução deste trabalho.

A todos os professores da Universidade Federal de Campina Grande que se desgastaram em viagens para Cuiabá, onde transmitiram seus conhecimentos.

Aos Professores do Centro Federal de Educação Tecnológica do Mato Grosso pela convivência e apoio técnico.

Aos meus Pais Antônio e Christina, pelo exemplo de luta e incentivos.

Aos meus Tios Décio, Sérgio e Ercílio, pela formação e orientação de vida que me deram.

A meu irmão e meus filhos pela paciência.

A Marijane, amiga, companheira, pela compreensão, paciência e confiança a mim depositada, nesses anos de dedicação.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	f
Lista de Figuras.....	iv
Lista de tabela	vi
Resumo.....	viii
Abstract	viii
1 - Introdução	1
2 – Revisão Bibliográfica	2
2.1 - Habitação popular	2
2.2 - Compósitos com madeiras	4
2.3 - Agregados	7
2.3.1 - Agregados Poliméricos Leves (orgânicos)	8
2.3.2 - Areia	9
2.4 - Água de Amassamento.....	11
2.4.1 - Retenção de água	13
2.5 - Granulometria e Forma do Grão do Agregado.....	14
2.6 - Tempo e Temperatura	14
2.7 - Métodos para Avaliação da Consistência	15
a - Ensaio de Abatimento	15
b - Ensaio de Penetração	15
c - Ensaio de Escorregamento	15
d - Ensaio Fator de Compactação	16
2.8 - Usos de Aditivos no Concreto	16
2.8.1 - Cuidados no Uso dos Aditivos	16
2.9 - Cimento Portland	16
2.9.1 - Constituintes	19
2.10 - Cal Hidratada	19

2.11 – Materiais orgânicos vegetais	21
2.11.1 – Pó de Serra	21
2.11.2 – Casca de Arroz	23
2.11.3 - Estrutura da celulose - Conceito	25
2.12 - Histerese	33
2.13 – Estudo químico da lignina	34
2.14 – INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS ORGÂNICOS COMO ADITIVOS FLUIDIFICANTES	35
3 – METODOLOGIA	40
3.1 – MATERIAIS	40
3.1.1 - Cimento Portland	41
3.1.2 - Areia Lavada	41
3.1.3 - Cal Hidratada	42
3.1.4 - Casca de arroz	44
3.1.5 - Água de Amassamento	44
3.1.6 - Tela de estuque	45
3.2 - MÉTODOS	45
3.2.1 - Plano de ação das experiências	45
3.2.1.1 – Descrição do Ensaio Expansibilidade	45
3.2.1.2 – Absorção de Água	45
3.2.1.3 – Massa Específica	46
3.2.1.4 - Dados relativos ao traço	47
3.2.1.5 - Preparo dos corpos-de-prova e placas	53
3.2.1.6 - Processo de cura das argamassas	54
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 - casca de arroz	56
4.1.1 – Absorção de água	56
4.1.2 – Massa Específica	56
4.2 – EXPANSIBILIDADE	57
4.3 - segregação	67
5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	71
5.1 - CONCLUSÕES	71

5.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	71
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formas de representação gráfica da molécula de β -D-Glucose.	27
Figura 2 - Representação gráfica tridimensional da forma aldeídica da D-Glucose.	27
Figura 3 - Reações de Hidrólise e Condensação da D-Glucose e Celulose.	27
Figura 4 - Fórmula da Celulose. a) Parte central da cadeia molecular; b) Grupos terminais redutores e não redutores.	29
Figura 5 - Fórmula stereo química da celulose.	29
Figura 6 - Micrografia eletrônica da parede celular de uma alga. A parede consiste em camada sucessivas de fibrilas de celulose em arranjo paralelo [D.M.Jones, Adv. Carbohydr. Chem. 19: 219 (1965)].	30
Figura 7 - Esquema de formação da parede celular a partir da unidade básica da celulose, (adaptado de IPT, 1988).	30
Figura 8 - Esquema representativo das regiões cristalinas e amorfas da celulose na fibrila elementar.	32
Figura 9 - Formas Cristalina da Celulose	33
Figura 10 - Histerese. Adsorção	34
Figura 11 - Precursores da lignina	35
Figura 12 - Efeito da glucose sobre a resistência à compressão, segundo VENUAT (1972) apud BAUER (1985).	37
Figura 13 - Efeito da sacarose sobre a resistência à compressão, segundo VENUAT, (1972) apud BAUER (1985).	37
Figura 14 - Efeito da glucose sobre a resistência à tração na flexão, segundo VENUAT, (1972) apud BAUER (1985).	38
Figura 15 - Efeito da sacarose sobre a resistência à tração na flexão, segundo VENUAT, (1972) apud BAUER (1985).	38
Figura 16 - Efeito da sacarose e glucose sobre o calor de hidratação, segundo VENUAT, (1972) apud BAUER (1985).	40
Figura 17 - Curva granulométrica areia lavada do Rio Cuiabá.	42
Figura 18 – Tela de Estuque empregada nos painéis de argamassa armada.	45

Figura 19 - Rompimento do corpo-de-prova com casca de arroz à compressão.	53
Figura 20 - Confeção de placas de argamassa armada.	54
Figura 21 - Ensaio de rompimento a compressão da placa de argamassa com casca de arroz.	55
Figura 22 - Ensaio de rompimento à compressão da placa de argamassa armada com casca de arroz.	55
Figura 23 - Gráfico dos Resultados do Ensaio de Expansibilidade para a Casca de Arroz e Argamassa com Casca de Arroz.	59
Figura 24 - Evolução da Resistência ao longo do tempo para Corpo de Prova Cilíndrico.	62
Figura 25 - Evolução da Resistência ao longo do tempo para placas de argamassa armada.	64
Figura 26 - Evolução da massa específica para corpos-de-prova cilíndricos.	65
Figura 27 - Evolução da massa específica para placas de argamassa armada com tela de estuque.	67
Figura 28 - Corpo-de-prova rompido, traço Bc.	68
Figura 29 - Corpo-de-prova cortado, traço Cc.	69
Figura 30 - Corpos-de-prova inteiro (Ac); rompido (Bc) e cortado (Cc).	69
Figura 31 - Sistema construtivo empregando as placas com argamassa especial.	70
Figura 32 - Painel de fechamento vertical com placas de argamassa especial.	70

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Tempo da reação de hidratação dos componentes do cimento, segundo BAUER, (1995).	18
Tabela 2 - Propriedades do concreto de Pó de Serra, segundo SHORT & KINNIBURGH. (1967).	22
Tabela 3 - Composição química da cinza da casca de arroz, segundo MEDEIROS, (1987).	24
Tabela 4 - Composição Química das cinzas da casca de arroz, segundo MEDEIROS, (1987).	24
Tabela 5 - Composição Química do Resíduo de Casca de Arroz (excluído 12% de C) obtido por absorção atômica (% em peso), segundo SOUZA, <i>et al.</i> (1996).	25
Tabela 6 – Aditivos retardadores de pega e seus efeitos sobre as Resistências Mecânicas, segundo VENUAT (1972) apud BAUER, (1985).	36
Tabela 7 - Aditivo Glucose e seus efeitos em diferentes dosagens, com relação ao Tempo de início e fim de pega, segundo VENUAT (1972) apud BAUER (1985).	39
Tabela 8 - Efeito de diferentes dosagens do aditivo glucose e seu calor de hidratação ao longo do tempo, segundo VENUAT (1972) apud BAUER (1985).	39
Tabela 9 – Propriedades do cimento utilizado, segundo dados do fabricante.	41
Tabela 10 - Areia Lavada do Rio Cuiabá - Composição granulométrica.	41
Tabela 11 - Ensaio de caracterização do agregado empregado, Areia Lavada.	42
Tabela 12 - Propriedades da cal hidratada, segundo dados do fabricante.	43
Tabela 13 – Ensaio de granulometria da casca de arroz empregada nas argamassas.	44
Tabela 14 - Corpos-de-prova preparados com o traço A, B e C.	47
Tabela 15 Corpos-de-prova preparados com o traço Ac, Bc e Cc	48
Tabela 16 - Dosagens das argamassas, traços em massa corrigida de acordo com a equação 3.4.	48
Tabela 17 - Consumo de materiais em Kg/m ³ de argamassa fresca.	51
Tabela 18 - Absorção de água medida na amostra da casca de arroz.	56

Tabela 19 – Massas específicas aparente e saturada da palha de arroz.	57
Tabela 20 - Resultados da expansibilidade.	59
Tabela 21 - Resultados dos ensaios de compressão nos corpos-de-prova cilíndrico nos traços A, B, C, Ac, Bc e Cc.	61
Tabela 22 - Resultados dos ensaios de compressão nos corpos-de-prova de 90 cm x 40 cm x 5 cm (placas) nos traços A, B, C, Ac, Bc e Cc.	63
Tabela 23 - Resultados das massas específicas nos corpos-de-prova cilíndrico nos traços A, B, C, Ac, Bc e Cc.	64
Tabela 24 - Resultados das massas específicas nos corpos-de-prova de 90 cm x 40 cm x 5 cm com tela de estuque nos traços A, B, C, Ac, Bc e Cc.	66

RESUMO

O Estado de Mato Grosso é um dos maiores produtores de grãos do País, em especial o arroz. Esse produto gera casca de arroz, com demorado tempo de degradação ambiental. A idéia é o aproveitamento da palha da casca de arroz "*in natura*" como material alternativo na construção civil. A palha da casca de arroz tem sido usada na geração de energia; que promove uma grande quantidade de cinza. A cinza da casca de arroz tem sido motivo de diversas pesquisas devido ao seu alto teor de sílica amorfa. O uso da palha da casca de arroz em placas de argamassa armada visa reduzir os lixões de palha de casca de arroz, suas conseqüências sanitárias e ambientais e doenças como, por exemplo, a silicose. Este trabalho tem por objetivo a determinação de propriedades mecânicas das peças de argamassa armada executadas com cimento, areia, cal, casca de arroz e telas de estuque, com a finalidade de aplicação em painéis de fechamento vertical na construção civil nas regiões produtoras de arroz. Os resultados indicam que os painéis são peças aproximadamente 30% mais leves que as peças sem a palha de casca de arroz. A resistência à compressão das peças armadas diminui aproximadamente 10% em relação a mesma argamassa sem casca de arroz. Foi observado também que não ocorre segregação entre os componentes da argamassa. Observou-se ainda um isolamento acústico, sem formação de eco, observado empiricamente, e uma temperatura interna inferior de 4°C, nos cômodos construídos em relação a um cômodo construído com alvenaria convencional, isto é, de tijolo, chapisco e reboco. Desta forma conclui-se que sua utilização é viável.

Palavras-chave: Moradia de baixo custo; Compósito; Casca de Arroz; Argamassa Armada, Engenharia Civil.

ABSTRACT

Mato Grosso State is one of the biggest grains-producing of this country, especially rice. This product generates rice husk, with slower environmental degradation time. The idea is the use of rice husk straw "*in natura*" as alternative material in civil construction. The rice husk straw has been used in energy generation, which promotes a big quantity of ash. The rice husk ash has been reason of several researches due to its high content of amorphous silica. The use of rice husk straw in plate of assembled mortar aims reduce the garbage of rice husk straw, its health and environmental consequences and diseases as silicon disease. This project has as an aim the determination of mechanical properties of assembled mortar peaces executed with cement, sand, lime, rice husk straw and steel screen, with the purpose of application in panels of vertical close in civil construction in regions that produces rice. The results indicate that the panels are peaces around 30% lighter than peaces without rice husk straw. The resistance to assembled peaces pressure reduces around 10% with relation to the same mortar without husk straw. It was also observed that it doesn't occur segregation among the mortar components. It was still sawn an acoustic isolating, without formation of echo, observed empirically, and an internal temperature inferior to 4° C, in the rooms built with relation to a room built with conventional wall, it means, of brick and tow. This way can conclude that its use is feasible.

Key-words: Low Cost Residence; Composite; Husk Rice; Assembled Mortar; Civil Engineering.

1 - Introdução

O Brasil apresenta um grande déficit habitacional, onde chama a atenção para o estudo de soluções que venham a atender, o mais rápido possível, as exigências, as condições e direitos que o ser humano tem de viver em condições dignas de habitação. A baixa oferta de moradia e alta demanda de pessoas necessitadas de locais adequados para se viver fazem das cidades verdadeiros locais de desordem.

Soluções são possíveis desde que se possam desenvolver propostas de utilização de tecnologias alternativas, com matérias primas regionais disponíveis a custos baixos e que no seu processo de produção apresente soluções ambientais favoráveis e sem agressões localizadas ou generalizadas.

Uma das formas de tecnologia que pode contribuir de maneira concreta para a transformação econômica, social e técnica em direção a uma situação em que o bem estar esteja à disposição de maior número de pessoas, é a utilização de tecnologia apropriada e materiais alternativos.

As pesquisas de materiais alternativos de construção à base de cimento reforçado com fibras estão aumentando rapidamente. A justificativa está na possibilidade de produção de componentes esbeltos (leves), com desempenho mecânico (elevada absorção de energia, frente a esforços dinâmicos), bom isolamento termo-acústico, além da indispensável viabilidade econômica.

Na América do Sul o Brasil é o maior produtor e consumidor de arroz. O arroz de sequeiro é produzido no Brasil na região centro-oeste, que é o maior produtor deste cereal no hemisfério ocidental. Anualmente plantam-se no território nacional cerca de 2,5 milhões de hectares, com uma produção média de 1200 a 1500 kg/ha. MENDES, (1983).

O Brasil atualmente vem aumentando sua fronteira e sua produção agrícola, em 2002 a área plantada foi de 3.175.772 há com rendimento médio de 3.556 kg/há. No Centro-Oeste, região objeto deste estudo, sabe-se que em 2002 a área plantada foi de 602.857 ha e o rendimento médio de 2.700 kg/ha. O Estado do Mato Grosso plantou 439.931 ha com rendimento médio de 2.718 kg/ha e a quantidade produzida foi de 1.192.447 toneladas, já para o ano de 2004 no Centro Oeste a área plantada foi de 961.331 ha com rendimento médio de 2.911 kg/ha e o Estado do Mato Grosso contribuiu

com a área plantada de 739.012 ha com rendimento médio de 2.949 kg/ha e uma quantidade produzida de 2.177.121 toneladas.

Pode-se dizer que 1.000 kg de arroz geram aproximadamente 170 kg de palha de casca de arroz e, se queimada, irá gerar cerca de 70 kg de cinzas. Quando a casca de arroz é queimada em fábrica de cimento, a cinza pode ser incorporada ao clínquer, quando queimada em caldeiras a cinza é devolvida ao meio ambiente. Os outros usos da cinza da casca de arroz, ainda são pequenos e inexpressivos frente ao volume de palha, e de cinza. IBGE (2005)

Algumas pesquisas recentes têm merecido grandes destaques utilizando a sílica proveniente da queima da casca de arroz, SOUZA (1996), incorporando-a nas matrizes à base de cimento Portland para produção de concretos de alto desempenho, SERRA (1996). Com isso surgiu a necessidade de desenvolver uma pesquisa sobre outras aplicações na construção civil com a utilização da casca de arroz *in natura* na produção de argamassa como elemento alternativo dos painéis de fechamento vertical. Neste caso, a celulose e a lignina existentes na casca de arroz reagirá com o cimento, promovendo uma boa aderência ao longo do tempo BAUER (1995).

O objetivo geral desse trabalho é utilizar a palha da casca de arroz logo após o beneficiamento para produzir painéis de alvenaria com baixo custo.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

Determinar a resistência à compressão de painéis armados produzidos com argamassa incorporada com palha de arroz;

Produzir painéis de argamassa com palha de arroz armada, para uso em construções residenciais;

Avaliar a trabalhabilidade da argamassa em relação à segregação.

2 – Revisão Bibliográfica

2.1 - HABITAÇÃO POPULAR

Observando-se atualmente a cidade e o campo, percebe-se que as populações de baixa renda estão resolvendo seus problemas habitacionais. Isso não significa dizer que

estas habitações são aceitáveis. Porém, apesar de todas as restrições existentes na sociedade, aquelas pessoas ainda têm condições de resolver seus próprios problemas e assim tem feito à margem muitas vezes das propostas institucionais, BOLAFFI, 1977.

No caso de grandes cidades, observa-se o crescimento de favelas que se caracterizam como sendo “aglomerados de moradias de reduzidas dimensões, construídas com materiais inadequados (madeira velha, zinco, latas, papelão...) e distribuídas irregularmente em terrenos quase desprovidos de serviços urbanos e equipamentos, compondo um complexo problema de ordem social, econômica, educacional e urbanística”, ABRAMS, 1967.

O processo de construção se desenvolve principalmente através de usuário que constrói sua casa com auxílio de sua família aos fins de semana, nas horas vagas ou durante as férias, BOTTIN, 1976.

O atual problema habitacional brasileiro é definido por estas características. Por exemplo, fazendo um giro pelas principais cidades brasileiras com mais de 200.000 habitantes, são encontradas características semelhantes, como acontece em Cuiabá, Sinop, Rondonópolis, Campo Grande, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Manaus, Porto Alegre, etc. As “soluções” construídas espontaneamente são conhecidas por “barracos, malocas, favelas, grilos”; infelizmente habitadas por seres humanos de baixa renda. Entretanto, é consenso que verdadeiras soluções devem partir da administração pública como é o caso dos conjuntos habitacionais construídos pela COHAB dos Estados.

A habitação popular diferencia-se dos exemplos citados anteriormente pelo fato desta constituir-se de um produto gerado pelo estudo do problema habitacional enquanto que aquelas soluções espontâneas entendidas também como “habitações das classes de baixa renda” é um produto marginalizado pela sociedade que a cria, ABIKO, 1980. No caso dos países subdesenvolvidos o processo de produção em larga escala da indústria da construção civil tem enfrentado os seguintes obstáculos para implantação:

o problema da diversificação regional, ou seja, jamais serão possíveis soluções padronizadas válidas em regiões distintas;

o problema da mão-de-obra abundante e sem qualificação;

a escassez de estudos consistentes para a caracterização de novos materiais para a construção civil;

a escassez de estudos consistentes na caracterização de aspectos sociais, econômicos e políticos, voltados especialmente para o problema habitacional brasileiro (Mello, 1991).

Observa-se que em consequência da atual crise que o País atravessa, as pessoas de baixa renda esforçam-se em encontrar saídas para construir suas casas. A autoconstrução é uma alternativa que, como foi visto, envolve a família, parentes e amigos, na construção da habitação que, via de regra, deixa muito a desejar como produto, apresentando péssimas condições de habitabilidade. Não existe, nesse caso, uma tecnologia formal empregada.

Há inúmeros conceitos sobre tecnologia. Para os fins deste trabalho, adota-se o de MAMMANA, 1982:

“Tecnologia é o conjunto de habilidades e conhecimentos de qualquer tipo científicos, obtidos experimentalmente, intuitivamente, escritos ou transmitidos oralmente utilizados na atuação sobre a natureza para o atendimento das necessidades humanas.”

2.2 - COMPÓSITOS COM MADEIRAS

Segundo Grandi, (1995) “Compósito” (do latim “compositus”), refere-se aos materiais que são constituídos de vários componentes de diferentes fontes de captação e distintos, cuja associação confere ao conjunto propriedades que isoladamente não possuem.

Pequenas alterações nas dimensões das fibras ou das partículas constituintes, nos tipos e quantidades de cimento empregados no teor de umidade, etc., levam os compósitos a apresentarem diferentes resultados quando ensaiados mecânica, física e quimicamente.

SABBATINI, (1986), relata que a consistência das argamassas pode ser seca, plástica e fluida. As consistências são determinadas pelo filme de pasta que rodeia os grãos de areia.

Na argamassa seca, a pasta só preenche os interstícios, permanecendo estes em contato, o que se traduz por massas ásperas e pouco trabalháveis. Na argamassa plástica, uma fina película de pasta umedece a superfície dos grãos de areia atuando como lubrificante. Na argamassa fluida, as partículas de areia estão submersas na pasta, sem coesão entre os grãos, a argamassa se esparrama tal qual líquido. As fibras e partículas usadas nas argamassas e concretos, por sua vez, podem ser representadas por fibras e partículas de metal ferroso ou não; por fibras minerais (amianto) por fibras sintéticas (polietileno, vidro) e por fibras naturais (fibras e partículas das diversas madeiras).

Segundo VALENZUELA, (1989), os compósitos de madeira com matriz de cimento foram mencionados pela primeira vez em 1908, e o desenvolvimento desses

compósitos se deu após a segunda guerra mundial. O autor relatou também que o envolvimento de fibras de madeira para uma ação mineralizante deixou a lignina inerte frente ao cimento.

Segundo BERALDO, (1994) os compósitos obtidos a partir de produtos à base de cimento e partículas de madeira tornou-se de interesse comercial na década de 30 para a fabricação de painéis leves cujo ligante era o cimento magnésiano. Esses painéis eram conhecidos por “Excelsius” (USA) ou “HERAKLIT” (Europa), sendo que em meados dos anos 50, foram depositadas várias patentes pela sociedade ELMENDORF. A maior parte das atuais indústrias de painéis utiliza os processos derivados das patentes (DINWOODIE e PAXTON, 1984). O compósito biomassa vegetal-cimento associado a um ligante mineral qualquer (cimento Portland; cimento magnésiano, gesso etc.) com granulado de origem vegetal, e, em certos casos, incorporando os mais diversos tipos de aditivos aceleradores de pega, cargas minerais, plastificantes, incorporadores de ar, etc., permite a composição de uma grande variedade de compósitos. Usando resíduos vegetais de casca de arroz in natura, bagaço de cana, serragem e sobras trituradas de vários tipos de madeiras e bambus, na mistura com cimento e areia, aumenta o volume da massa, dão leveza às peças e evitam trincas.

Para MOSLEMY, (1974), partícula é um termo genérico para todos os elementos. Ligno-celulósicos com os quais é feita a chapa de aglomerado. Existem diferentes tipos de partículas quanto à dimensão, a densidade, e ao formato. “FLAKE” é uma partícula plana, fina, e com espessura entre 0,2 e 0,4 mm comprimento de 25 a 100 mm e largura entre 10 e 25 mm. “SHAVING” (aparas, maravalhas) são partículas finas de madeira, produzidas em algumas operações de trabalho, que permitem a obtenção de chapas de resistência, rigidez e estabilidade dimensional linear inferiores as das chapas produzidas com “flakes”. “CHIPS” (lascas, cavacos) são pedaços de madeira de tamanho variável, entre 12 a 25 mm de comprimento, por 1,5 mm de largura e espessura um pouco menor. “EXCELSIOR” (palha ou lâ de madeira), usada na fabricação de chapas de madeira com cimento Portland, são partículas longas e finas (até 25 mm de comprimento) com aproximadamente 5 mm de largura normalmente obtidas de madeira de baixa densidade (pinus) utilizadas para fins estruturais. As chapas formadas por partículas são normalmente divididas em 3 categorias quanto a sua densidade: a) baixa densidade (0,58 g/cm³), b) média densidade (0,58 a 0,79 g/cm³) e c) alta densidade (acima de 0,79 g/cm³).

Ultimamente a aplicação e pesquisas com fibras curtas e longas, individuais ou em feixes apresentam um desafio na busca de novos materiais de construção, uma vez que a função principal das fibras está em retardar a ruptura e controlar a tensão de rompimento da peça, segundo SWAMY, (1990).

Embora existam fibras naturais em abundância, disponíveis a baixo custo, estas apresentam limitações, tais como: baixo módulo de elasticidade, alta absorção de água, susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos, baixa durabilidade em meio alcalino, variação de propriedades entre fibras do mesmo tipo.

As fibras podem ser derivadas de folhas, caules, frutas, cascas ou madeiras. A degradação química das fibras orgânicas faz com que, dentro de pouco tempo a propriedade de reforço deixe de existir, aparecendo às fissuras.

As fibras vegetais contem celulose hemicelulose, amidos, açúcares, taninos, certos fenóis, ligninos e sais minerais, com exceção de alguns sais minerais todos são conhecidos como inibidores de pega normal e do desenvolvimento das propriedades de resistência da matriz cimento. A decomposição é mais rápida no meio alcalino úmido do que no meio úmido natural, sendo a rapidez de degradação dependente de natureza da fibra. SWAMY (1990) observou que fibras naturais permaneceram intactas em concreto carbonatado, visto que a fragilidade da fibra é causada principalmente pela alta alcalinidade da matriz.

BIBLIS, (1968), observou que em certos lotes de compósitos, não ocorreu a pega do cimento, ou teve seu tempo aumentado consideravelmente, mesmo utilizando processos idênticos de fabricação, a mesma matéria prima, o mesmo traço. Algumas madeiras, ao serem utilizadas em forma de partículas como agregado do cimento Portland e água apresentam reações químicas desfavoráveis à pega do cimento.

FORDOS, (1989), COUTTS, (1989) e AKERS, *et al* (1989), encontra-se bem avançada a fabricação de produtos compósitos com fibra de madeiras autoclavados e curados ao ar, tais como placas lisas, telhas onduladas, tubos, etc.

No trabalho de SIMATUPANG, (1986) e SIMATUPANG, & LANGE (1988) relataram algumas tecnologias para a redução do tempo de produção de chapas de madeira-cimento, gesso e magnésio. A adição de retardadores e aceleradores de pega, como a injeção de vapor e adição de CO₂ em forma gasosa durante a prensagem das chapas, influenciam as reações químicas inerentes à hidratação do cimento, permitindo a utilização de espécies de madeira com maior concentração de glucose e taninos.

Segundo BERGER, *et al.* (1972), a carbonatação do cimento Portland hidratado é de considerável interesse técnico. A carbonatação melhora as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, e é controlada pela infusão de CO₂ na mistura. Se for utilizada uma pressão parcial de CO₂ mais elevada do que a natural, o Ca(OH)₂ pode-se carbonatar rapidamente. Pastas compactas de cimento Portland com fator a/c= 0,15 reagem rapidamente com CO₂, sob pressão, e desenvolve considerável resistência á compressão em poucos minutos. Os autores observaram que a água, em contato com o cimento Portland, satura-se rapidamente em relação ao Ca(OH)₂ Outra vantagem da carbonatação é de minimizar a incompatibilidade química madeira-cimento. No entanto, as alternativas utilizadas industrialmente são a adição de aceleradores de pega à pasta de cimento Portland.

SWAMY (1990), PIRJE *et al* (1990) e BERGER *et al* (1972), mostraram que a ação retardadora de pega devido aos açúcares orgânicos gerava problemas aos compostos. Uma solução da indústria foi à preocupação de colocar aditivos aceleradores de pega a base de cloretos e sulfatos.

MOSLEMY, *et al* (1983) observou que os compósitos são altamente sensíveis às espécies de madeira utilizadas, as quais alteram profundamente a curva do calor de hidratação do cimento Portland em função do tempo. Foram usados aditivos químicos na tentativa de melhorar o calor de hidratação e, desta forma a pega do cimento. Os aditivos mais usados são: CaCl₂, NaOH, MgCl₂ e Ca(OH)₂. Deve-se salientar, no entanto, que estudos preliminares devem ser realizados para adequar o acelerador à espécie de madeira utilizada.

2.3 - AGREGADOS

O agregado é um conjunto de grãos naturais, processados ou manufaturados, que se apresentam numa seqüência de diferentes tamanhos, os quais interligados por um material aglomerante, formam argamassas e concretos.

Os agregados miúdos são partículas de diâmetro = d, $d < 4,8 \text{ mm}$ e $d > 0,75 \text{ mm}$ (Peneira # ABNT 200) NBR 7200 (1982). Porém, normalmente depósitos de solos contém quantidades variáveis de silte e argila, as quais são partículas menores que 0,75 mm, além de outras impurezas orgânicas, ou inorgânicas que influenciam as propriedades das argamassas. O agregado miúdo contribui para a trabalhabilidade, na medida em que se

apresenta bem graduado, com os vazios entre os grãos maiores preenchidos pelos grãos menores. As características como: porosidade, permeabilidade e absorção influem no tempo da reação química, na resistência mecânica, na elasticidade, na massa específica das argamassas e na aderência entre aglomerante e as partículas.

Areias grossas não produzem massa com boa capacidade de aderir porque prejudicam a sua trabalhabilidade e sua aplicação ao substrato, reduzindo a extensão de aderência. Da mesma forma, areias muito finas também podem prejudicar a aderência, pois quando da sucção do substrato, os grãos muito finos da areia podem penetrar no interior de seus poros, tomando o lugar dos produtos de hidratação do cimento que se formariam na interface e produziriam o encunhamento (empacotamento) da argamassa. (LAWRENCE & CAO, 1988).

Para obtenção de bons resultados de aderência, a areia deve possuir uma distribuição granulométrica contínua. De forma que, quanto maior o módulo de finura das areias, desde que produzam massas trabalháveis, maior será a resistência de aderência obtida. (LAWRENCE & CAO, 1988, KAMPH, 1961; RENSBURG, 1978). São particularmente prejudiciais impurezas como aglomerantes argilosos, pirita, mica, concreções ferruginosas e matéria orgânica.

Os constituintes de origem orgânica podem perturbar o curso do endurecimento da argamassa quando se usa cimento. Se no ensaio com solução de hidróxido de sódio, como prescrito na NBR-7220 for provada presença de quantidades nocivas, devem ser determinadas as resistências da massa.

A granulometria, a areia deve possuir o menor espaço vazio possível; por isso devem ser utilizadas areias de grãos mistos de composição identificável em ensaios de laboratório. São areias próprias, aquelas em que a fração com diâmetro de grãos de até 0,2 mm representa entre 10% e 25% em peso, a forma do grão é favorável a arredondada, podendo se usar areia com grãos angulosos, esta irá aumentar a resistência ao cisalhamento porque aumenta o coeficiente de atrito na interfase.

2.3.1 - Agregados Poliméricos Leves (orgânicos)

Polímeros industrializados de uma maneira geral estão entrando cada vez mais nas argamassas, gerando compósitos, com as mais diferentes propriedades, de acordo com as necessidades da engenharia.

O E.P.S (Poliestireno expandido, Isopor) em blocos de 50 mm de espessura ou mais, tem substituído a cerâmica nas lajes de pisos de edifícios, diminuindo a carga nas fundações. Placas com espessura de 50 a 100 mm têm sido utilizadas em processos construtivos de paredes inteiras unidas por telas de arame e argamassa armada injetada. O E.P.S em fragmentos ou flocos também tem sido empregado em concreto leve para se obter blocos e painéis pré-moldados, de baixa massa específica. E.P.S. tem como vantagem principal a baixíssima transmissão de calor, sendo muito usado em obras onde esta necessidade é fundamental, como exemplo câmaras frias. O E.P.S. em flocos tem a grande desvantagem da segregação rápida na massa, sendo obrigatório o uso de aditivos aceleradores de pega, para diminuir este efeito.

2.3.2 - Areia

As areias são substâncias minerais que a natureza apresenta sob a forma de grãos, de diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm.

Considerada como material de construção, a areia é o agregado miúdo que provem da desagregação das rochas.

a - Origem

As areias para argamassas provêm:

- de rio;
- de cava ou mina;
- de britagem;
- de escória.

b - Caracterização

A granulometria das areias pode ser classificada em três faixas granulométricas:

- Fina = 0,15/0,6 mm
- Média = 0,6/2,4 mm
- Grossa = 2,4/4,8 mm

De acordo com o tipo de obra, faz-se a dosagem das areias.

c – Propriedades Físico-mecânicas

- **Inchamento:** A areia seca absorve água, que passa a formar uma película em torno dos grãos. Como os vazios (espaços entre os grãos) da areia chegam a ser de espessura tão delgada quanto a espessura da película de água, esta afasta os grãos

um dos outros, produzindo o inchamento.

- **Higroscopia:** A areia seca tem duas fases: sólidos (grãos) e vazios (ar); a areia úmida tem três: sólidos, água e ar; a areia saturada apresenta duas fases: sólidos e água. Os vazios (espaços entre os grãos) da areia seca são de dimensões muito pequenas, de modo que a areia pode apresentar higroscopia ou ascensão capilar.
- **Coesão aparente:** Considerando a equação do esforço de cisalhamento, $T = C + tg \varphi$, verifica-se que C é nulo na areia seca, ou seja: a areia seca não tem coesão. Na areia úmida, C não é nulo, aparecendo, o que se chama de coesão aparente da areia. É a tensão capilar da água que cria uma resistência ao cisalhamento, como se tratasse de coesão, mas é fenômeno diferente do que ocorre nos solos coesivos.
- **Friabilidade:** A areia perde qualidade se contiver grão friável ou esmagável. Para verificar, em primeira aproximação, a presença de grãos friáveis em tempo mais curto do que o necessário para ensaio de qualidade pode ser feito um ensaio de esmagamento, aplicando uma força de 40 MPa em um minuto.
- **Permeabilidade:** capacidade do material de permitir a passagem da água através dos seus poros ou vazios sob a ação da gravidade ou de outra força.

d - Impurezas

As impurezas são classificadas em coloidais e não coloidais. As não coloidais têm grãos de dimensões da ordem de microns ($\mu\text{m} = 10^{-6}$ m) e podem ser retiradas por lavagem; as coloidais não são elimináveis. As impurezas não coloidais que mais ocorrem são: argila em torrões, materiais pulverulentos, materiais friáveis, materiais carbonosos, materiais orgânicos.

e - Usos

- **Preparo de argamassas:** Cimento, cal e areia, ou cimento e areia empregado no preparo de argamassas, seja para assentamento de peças de alvenarias, ou para revestimentos diversos.
- **Concreto betuminoso:** Tem a propriedade de impedir o amolecimento do concreto betuminoso dos pavimentos de ruas nos dias de intenso calor.
- **Concreto de cimento:** Constitui o agregado miúdo dos concretos.
- **Filtros:** Devido a sua grande permeabilidade são usados para construções de filtros, destinados a interceptar o fluxo de água de infiltração em barragens de terra e em muros de arrimo.

Usa-se, esporadicamente, em regularização de bases de pisos e assentamento de paralelepípedos em ruas.

2.4 - ÁGUA DE AMASSAMENTO

Todas as águas naturais são próprias para o amassamento, desde que não seja contaminada por impureza que atue a curto ou longo prazo. Não podem ser usadas, por exemplo, águas servidas provenientes de processos industriais, assim como água que contenha elevado teor de sais nocivos. Deve-se verificar sempre, se a água for turva, através de análise a possibilidade de sua utilização como água de amassamento. A água é um ingrediente essencial na argamassa, uma vez que ela possui duas funções primordiais: uma que a mistura seja trabalhada e, a outra, combinar quimicamente com aglomerantes, proporcionando o endurecimento e a resistência de argamassa. Para obter resultados de aderência com a massa do concreto existe o consenso, de que o conteúdo de água deva ser o máximo compatível com a trabalhabilidade e mantendo a coesão e a plasticidade da massa. (RIBAR; DUBOVOY, 1988; BOYNTON, 1964; PANARESE, 1983).

Os constituintes do cimento endurecido, principalmente as combinações hidratadas da cal com a sílica, alumina e óxido de ferro, podem reagir quimicamente com diferentes substâncias, a resistência do cimento endurecido pode apresentar-se diminuída, e em casos extremos, pode perder parcialmente sua coesão, e a estrutura não suportar a carga. As águas como as terras podem conter substâncias químicas suscetíveis às reações com certos constituintes dos cimentos presentes nos concretos, assim temos as agregações ao cimento, aos agregados e neste caso a palha de casca de arroz.

Os silicatos de cálcio hidratados e principalmente cal hidratada, presente no cimento, são os elementos mais submetidos ao ataque químico, o hidróxido de cálcio presente na proporção de 15% a 20% do peso do cimento original constitui o ponto mais vulnerável.

Águas puras, de fontes graníticas ou oriundas de degelo ou chuvas, atacam o cimento hidratado, por dissolução da cal existente, acabam lavando toda a cal existente no cimento hidratado e começam a dissolver os próprios silicatos e aluminatos.

Águas ácidas, como, por exemplo, águas de chuva com baixo índice de gás carbônico dissolvido, formando o sal carbonato de cálcio que é pouco solúvel e acaba por obstruir os poros, constituindo uma proteção aos futuros ataques.

Se a concentração de gás carbônico é relativamente forte em relação ao hidróxido de cálcio do cimento, o carbonato de cálcio formado é dissolvido como bicarbonato, prosseguindo o ataque até a completa exaustão da cal presente, e em seguida temos os ataques aos sais de cálcio.

As águas podem ser igualmente agressivas quando contém outros ácidos, como proveniente de resíduos industriais e águas de tratamento de resíduos orgânicos, que contém ácidos orgânicos, em ambos os casos temos a exaustão da cal.

A água sulfatada ataca o cimento hidratado por reação do sulfato com aluminato, produzindo o sulfoaluminato com grande aumento de volume que promove a fissuração e conseqüentes infiltrações.

A reação alcali – agregado ocorre quando se tem a formação de um produto gelatinoso acompanhado de grande expansão de volume pela combinação dos álcalis do cimento com a sílica ativa, finamente dividida, eventualmente presente nos agregados. Trata-se de fenômeno estudado recentemente e por constituir importante risco na durabilidade dos concretos, merece detalhada investigação quando do uso de agregados oriundos de novas fontes, sem experiência anterior.

As reações ácidas em sua maioria atacam o cimento do concreto, porque durante a reação se formam sais de cálcio facilmente solúveis, quando os ácidos reagem e formam sais de cálcio pouco solúveis estes sais como não são solúveis irão impermeabilizar os poros do concreto, interrompendo o ataque ácido.

Os ácidos fortes (clorídrico, nítrico, sulfúrico) reagem com todos os constituintes do cimento formando sais de cálcio, de alumínio e de ferro.

Os ácidos fracos como carbônico formam sais com a cal e não com a alumina e óxido de ferro, o ácido sulfídrico apesar de fraco e não apresentar problemas para o concreto, dependendo da sua situação de aplicação, poderá se dissolver na forma de gás ou se oxidar em ácido sulfúrico e passar à condição de ácido forte. O principal agente oxidante do ácido sulfídrico cujas bactérias putrefactas, que necessitam de grande quantidade de matéria orgânica em meio úmido permanente e constante para desenvolverem seu

metabolismo. A palha da casca de arroz, tem a necessidade de pH ácido < 5 e temperatura ambiente. Nas reações do cimento e agregado, com pega em 24 horas, não há tempo hábil para o início do desenvolvimento da colônia bacteriana; outro fato é o meio básico que dificulta ainda mais este desenvolvimento, e a primeira reação do cimento é a do C_3S onde se tem um calor de hidratação de 120 cal/g e o calor dos componentes C_2S é de 62 cal/g e o C_3A de 207 cal/g, somando um calor que gera a elevação da temperatura quase que instantaneamente, desta forma, mais a ausência de ar e início da evaporação temos transferência e o retardamento das atividades bacterianas no interior da massa.

Entre os ácidos orgânicos, são os ácidos fórmicos, o acético e o láctico que atacam mais fortemente o concreto. Como os ácidos fórmicos e acéticos apresentam-se muito raramente, os ataques devidos aos ácidos lácticos ocorrem em maior quantidade nas leiterias e laticínios.

Os ácidos tânicos são ácidos fracos que aparecem nas águas residuais dos curtumes, os ácidos fenólicos são fracos e aparecem na forma de ácido carbólico, não apresentam grandes problemas, as soluções de açúcar e glicerinas promovem a lixiviação. Essas combinações formam sais de cálcio solúveis em água.

Os ácidos úmicos de uma maneira geral pouco atacam o concreto. Águas básicas em soluções fracas, menor de 10%, em geral, não atacam o concreto, já soluções maior de 10% e de bases fortes NaOH e KOH, passam a atacar as fases “aluminatos” do cimento, favorecendo a lixiuração.

2.4.1 - Retenção de água

Retenção de água é a capacidade da argamassa não perder água para o ambiente, sem perder sua consistência e sua trabalhabilidade, quando sujeitas a solicitações que provocam perda d'água (evaporação, sucção), tempo disponível para o pedreiro poder trabalhar, uma vez que é função da superfície específica dos materiais constituintes da argamassa dependente da tensão superficial da pasta.

As argamassas de cal apresentam características favoráveis de retenção de água pela elevada superfície específica da cal e pela grande capacidade de absorção de seus cristais (até 100% do seu volume). (CINCOTTO, 1995).

A proporção de cal nas argamassas deva ser a mínima necessária para a retenção de água seja igual ou superior a 75%, segundo o ensaio da (ASTM, 1992).

Além de determinar as condições de manuseio da argamassa, a retenção de água influi nas propriedades no estado endurecido, na medida que determina as condições de hidratação do cimento, responsáveis pela evolução do processo de endurecimento.

A NBR-7175 exige que a retenção de água esteja entre 70% e 80% para cal hidratada.

Os fatores que influem na capacidade de retenção de água de massa são: a) área específica dos materiais constituintes e o número de íons ativos por unidade de superfície; b) maturação prévia das argamassas de cal; c) natureza da cal; a relação cal/cimento no traço e a relação agregado/aglomerante no traço, SELMO, 1989.

O aumento da capacidade de retenção de água é obtido ainda pela utilização de aditivos cujas características dificultam a perda de água para o substrato, como é o caso de derivados de celulose e aditivos que fazem o impedimento da percolação da água capilar como aditivos incorporadores de ar, CINCOTTO, 1995.

2.5 - GRANULOMETRIA E FORMA DO GRÃO DO AGREGADO

Se fixar o teor água/mistura seca, e se modificar a granulometria, ou seja, a relação agregado miúdo/agregado graúdo, observar-se-á uma mudança na consistência do concreto. Se houver uma redução na superfície específica do agregado, o concreto tornar-se-á mais plástico, em caso contrário, menos plástico, BAUER, 1995.

De um modo geral, os agregados graúdos e miúdos devem ser uniformemente graduados, sendo aconselhável que não haja predominância de determinada fração sobre a outra.

2.6 - TEMPO E TEMPERATURA

Para YAZIGI, (1998), as misturas recém-preparadas de concreto enrijecem com o tempo. Esse enrijecimento não deve ser confundido com a pega do cimento, pois resulta da absorção de parte da água pelo agregado, da evaporação de outra parte, sobretudo se o concreto estiver exposto ao sol e ao vento, e, ainda, da perda da água utilizada nas reações químicas de hidratação iniciais.

A consistência de uma mistura também é afetada pela temperatura ambiente que modifica a temperatura do próprio concreto. Esse fato determina variações na quantidade de água necessária à mistura, para uma mesma consistência.

2.7 - MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

Os métodos de medição da consistência podem-se incluir nos seguintes tipos:

ensaios de abatimento;

ensaios de penetração;

ensaios de escorregamento;

ensaios de compactação.

a - Ensaio de Abatimento

Trata-se de chapa metálica, com forma de tronco de cone de 20cm de diâmetro na base, 10 cm no topo e 30 cm de altura, apoiado numa superfície rígida, o concreto fresco é moldado em três camadas iguais, adensadas, cada uma com 25 golpes, por uma barra de 16 mm de diâmetro e 60 cm de comprimento, de acordo com o MB - 256.

Em seguida o molde é retirado verticalmente, deixando o concreto sem suporte lateral; sob a força de gravidade, a massa abate mais ou menos simetricamente, aumentando seu diâmetro médio enquanto sua altura diminui. O abatimento ou “Slump” corresponde à diferença entre os 30 cm iniciais e a altura após a remoção do molde.

b - Ensaio de Penetração

Trata-se de processo prático de determinação da consistência através da penetração na massa de concreto fresco. Ensaio com a bola de Kelly. Este teste consiste na determinação da profundidade do mergulho de um cilindro, tendo um hemisfério num dos extremos, com 15 cm de diâmetro e 15 quilogramas de peso numa massa de concreto fresco.

Este dispositivo imaginado por Kelly, foi normalizado e se constitui no método de ensaio ASTM - C360/63. Na prática o ensaio pode ser realizado sobre o concreto antes de qualquer manipulação, onde quer que ele se encontre - painéis, caçambas, carrinhos de mão ou nos moldes, sendo utilizado para verificar as alterações da mistura, tais como a variação de umidade.

c - Ensaio de Escorregamento

Este ensaio de laboratório nos dá indicação da consistência do concreto e de sua qualidade quanto à segregação; é medido pelo espalhamento de um tronco de cone deste material sujeito a golpes. O ensaio é normalizado pela ASTM e é designado por C 124/39.

O aparelho é uma mesa metálica de 75 cm de diâmetro, montada sobre um suporte que lhe permite aplicar quedas de 12 milímetros. Um molde em forma de tronco de cone de 25 cm de diâmetro de base, 17 centímetros no topo e altura de 12,5 centímetros.

O concreto é colocado no centro da mesa no interior do cone e o enchimento é feito em duas camadas e compactado da mesma maneira que do ensaio de abatimento. O molde é então removido e são aplicados à mesa 15 golpes em 15 segundos, através de uma manivela agindo sobre um excêntrico. O concreto se espalha sobre a mesa; mede-se o diâmetro médio do concreto espalhado; o escorregamento é avaliado como percentagem do diâmetro original (25 cm).

d - Ensaio Fator de Compactação

O grau de compactação chamado fator de compactação, é medido pela relação entre os pesos específicos, isto é, entre o peso específico atualmente observado no ensaio e o peso específico do mesmo concreto completamente compactado. BAUER, (1995).

2.8 - USOS DE ADITIVOS NO CONCRETO

Há grande variedade de aditivos disponíveis que afetam a consistência do concreto. O uso indiscriminado dos aditivos, porém, pode acarretar efeitos mais prejudiciais que benéficos.

2.8.1 - Cuidados no Uso dos Aditivos

- a) Comparação do custo final do concreto com as características especificadas, obtidos por intermédio do emprego do aditivo;
- b) Conhecimento dos efeitos reais do aditivo;
- c) Avaliação dos efeitos causados pelos aditivos nas obras;
- d) Habilitação da mão de obra para o uso dos aditivos.

2.9 - CIMENTO PORTLAND

Produto obtido pela pulverização de Clinker constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. BAUER, (1995).

Assim, o Clinker é um produto de origem granulosa, resultante da calcinação da mistura de vários materiais como silicatos, sulfatos, cal, argila, levados a fusão incipiente. Com a hidratação destes materiais em forma de pó, há um endurecimento, gerando um material compacto e úmido, com características diferentes de sua composição inicial (pedra, areia, ferro, palha de casca de arroz), apresentando elevada resistência mecânica e pode ser moldada, adquirindo o formato desejado.

Os constituintes fundamentais do cimento Portland são; a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), uma certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO₃), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo da pega do produto. Tem ainda como constituintes menores algumas impurezas, tais como, óxidos de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂) e outras substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento.

A mistura de matérias-primas em proporções convenientes e finamente pulverizada e homogênea é submetida à ação do calor no forno produtor de cimento, até a temperatura de fusão incipiente (900°C a 1000°C). Resulta daí o Clinker. Nesse processo ocorrem combinações químicas, no estado sólido formando os seguintes compostos:

Silicato Tricálcico (3CaO.SiO₂ denominado C₃S)

Silicato Bicálcico (2CaO.SiO₃ denominado C₂S)

Aluminato Tricálcico (3CaO.Al₂O₃ denominado C₃A)

Ferro Aluminato Tetra Cálcico (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃ denominado C₄AFe)

As propriedades do cimento são relacionadas com as proporções dos silicatos e aluminatos, que são determinados a partir do resultado da análise de óxidos. A composição do cimento Portland varia em função das condições de operação do forno, e subsequente resfriamento do Clinker. É aceita a aplicação do método de Bogue, como um controle da mistura de matérias-primas no processo de fabricação do cimento.

O silicato tricálcico (C₃S) tem grande importância em fornecer resistência em todas as idades, principalmente após o primeiro mês de cura. O silicato bicálcico (C₂S) adquire maior importância em resistências e no processo de endurecimento em idades mais avançadas, um ano ou mais. O aluminato tricálcico (C₃A) é o principal agente que contribui no aumento da resistência e endurecimento nos primeiros dias, já o ferro aluminato de cálcio (C₄AFe), contribui para a resistência.

O aluminato tricálcico (C_3A) contribui para o calor da hidratação, especialmente no início da cura. O silicato tricálcico é o segundo componente em importância no processo de liberação de calor, os outros componentes contribuem pouco para a liberação de calor.

O aluminato de cálcio, quando presente na forma cristalina, é o responsável pela rapidez de pega. Com a adição de proporção conveniente de gesso, o tempo de hidratação é controlado. O silicato tricálcico (C_3S) é o segundo componente com responsabilidade pelo tempo de pega do cimento. Os outros constituintes se hidratam lentamente, sem efeito sobre o tempo de pega.

O fenômeno da pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta. No início do processo de endurecimento as propriedades físicas são consequência de um processo químico de hidratação.

Endurecimento é um fenômeno definido como o momento em que a pasta começa a adquirir consistência, deixando de ser fluida e passando a ser sólida, não permitindo mais sua mistura, isso ocorre tanto para argamassas como aos concretos, onde se tem a missão aglutinadora dos agregados.

No processo de hidratação, os grãos de cimento que inicialmente se encontram em suspensão vão-se aglutinando paulatinamente uns aos outros, conduzindo à construção de um esqueleto sólido por efeito da floculação, que se responsabilizará pela estabilidade da estrutura em geral. O prosseguimento da hidratação em subseqüentes idades conduz ao endurecimento responsável pela aquisição permanente de qualidades mecânicas do produto acabado, assim, pega e endurecimento são duas características distintas do processo de hidratação onde a pega dá-se no início e, o endurecimento, dá-se no final do processo. Durante o endurecimento o concreto ou a argamassa deve permanecer em repouso.

Os tempos necessários para hidratação de 80% de cada um dos principais componentes do cimento estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo da reação de hidratação dos componentes do cimento, segundo BAUER, (1995).

Tipo de Reação	Tempo (dias)
$C_3S + H_2O$	10
$C_2S + H_2O$	100
$C_3A + \text{Gesso} + H_2O$	—
$C_3A + H_2O + Ca(OH)_2$	6
$C_4AF + H_2O + Ca(OH)_2$	50

A resistência da massa depende da coesão do cimento, da sua aderência às partículas do agregado, e até certo ponto da resistência do agregado.

RIBAR, & DUBOVOY, (1992), são enfáticos em afirmar que um dos parâmetros mais significativos na resistência de aderência é a finura do cimento; quanto mais fino o cimento maior a resistência de aderência obtida.

A retração nas primeiras 24 horas é controlada pela perda de água da massa, que, por sua vez, é controlada com utilização de agregados bem graduados (areia, britas, palha de casca de arroz), de modo a formar um volume de vazios da ordem de 33%, com a adição de cal ou de um aditivo incorporador de ar. A cal tem também efeito benéfico em idades maiores (CINCOTTO, 1985).

2.9.1 - Constituintes

Cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland e constituem, geralmente 95 a 96% do total na análise de óxidos. A magnésia, que parece permanecer livre durante todo o processo de calcinação, está presente na proporção de 2 a 3%. Os óxidos menores comparecem em proporções inferiores a 1%, excepcionalmente 2%.

2.10 - CAL HIDRATADA

Sendo a cal nome genérico de um aglomerante simples, que devido a sua finura, apresenta propriedades de retenção de água e plastificantes. A cal é resultante da calcinação de rochas calcárias, que se apresentam sob diversas variedades, com características resultantes da natureza da matéria-prima empregada e do processamento conduzido.

Nas rochas calcáreas naturais, o carbonato de cálcio é freqüentemente substituído, em menor ou maior proporção, pelo carbonato de magnésio, que não constitui impureza propriamente dita. A sílica, os óxidos de ferro e de alumínio são as impurezas que acompanham os carbonatos em maior ou menor grau na constituição da matéria-prima.

A calcinação de calcáreo natural é a submissão do carbonato de cálcio ao calor, em uma temperatura aproximada de 900°C, decompondo-se em óxidos de cálcio e anidrido carbônico, conforme reação química.

Da mesma forma ocorre com o carbonato de magnésio, mas em temperatura mais baixa; quando as rochas para calcinação são calcitas (CaCO_3) que apresentam uma

estrutura cristalina romboédrica e possuem alto teor de carbonato de cálcio, usado como o principal componente do cimento Portland; quando são dolomíticas $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$, apresenta este mineral uma estrutura romboédrica constituída por carbonato de cálcio e carbonato de magnésio em quantidades de 54,2% e 45,74% respectivamente em massa.



As magnesianas estão entre as duas citadas acima, possui carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, sendo que este último em teor menor do que as dolomitas.

O produto dessa calcinação que contém óxidos de cálcio em predomínio é a cal viva que não é ainda o aglomerante utilizado na construção. O óxido deve ser hidratado, transformando-se em hidróxido que é o constituinte básico do aglomerante cal.



A cal hidratada é utilizada em mistura com água e areia em proporções apropriadas na elaboração de argamassas, estas têm consistência plástica cuja plasticidade da argamassa está diretamente relacionada ao teor de insolúveis, sendo que teores elevados de silicatos, de argilo-minerais ou de quartzo, são impurezas e quanto maior estes teores, maior o grau de impurezas do produto. Segundo a norma NBR-7175, a pureza da matéria-prima deve ser um teor mínimo de 88% de óxidos de cálcio e magnésio, na base de material isento de voláteis, sendo os 12% restantes, impurezas da matéria-prima, a composição química da cal irá influenciar na plasticidade das massas COSTA, (2000).

As massas têm consistência mais ou menos plástica e endurecem por recombinação da cal hidratada com o gás carbônico presente na atmosfera, reconstituindo o carbonato original, onde temos uma cristalização permanente entre os grãos de agregado utilizados. Esse endurecimento é lento e a cristalização se dá em gradiente de fora para dentro, dependendo da porosidade dos agregados, permitindo de um lado a evaporação da água excedente e de outro lado uma penetração do CO_2 do ar atmosférico, tal fenômeno é denominado carbonatação e apresenta a seguinte reação química:



É uma reação que ocorre a temperatura ambiente e exige a presença de água. Verificou-se que o CO_2 seco não combina satisfatoriamente com o hidróxido.

A cal acrescenta melhorias sensíveis às argamassas por ter cristaltos muito pequenos e com capacidade de reter em sua volta uma película líquida de água firmemente aderida COSTA, (2000).

Como o óxido de magnésio se hidrata mais lento em relação à hidratação do óxido de cálcio, em massas constituídas por cal dolomita pode-se ter elevados teores de óxido de magnésio no estado não hidratado CINCOTTO, (1980). Por isso uma expansão considerável pode se manifestar nas superfícies das placas com características de microfissuras.

COPPELAND, & SAXER, (1964), em seus estudos constataram que valores maiores de resistência de aderência eram obtidos para as massas preparadas com cal dolomita quando comparadas com as preparadas com cal cálcica. Esses resultados, em parte, foram atribuídos às diferenças constatadas em micro estrutura da pasta aglomerante, no caso das argamassas com cal dolomíticas houve a formação de grandes cristais de carbonato de cálcio, macro cristais, enquanto que nas argamassas com cal cálcica resultaram, essencialmente, micro cristais. A nível macroscópico, este fato pode ser explicado pela diferença na retenção de água das argamassas, a argamassa constituída de cal dolomítica apresenta retenção superior de água.

Após a pesquisa bibliográfica, optamos pelo uso de cal hidratada comum para argamassa. Devido ao fato dos hidróxidos atuarem química e fisicamente nos polímeros naturais, diminuindo sua rigidez e sua dureza, tornando-os macios e maleáveis este fato favorece a mistura da casca de arroz com o cimento e a areia, permitindo uma maior interação para as reações com o cimento Portland.

2.11 – MATERIAIS ORGÂNICOS VEGETAIS

Os materiais orgânicos naturais de origem vegetal que se tem utilizado como agregados são oriundos de indústrias agrícolas ou extrativas, principalmente as cascas de arroz e o pó de serra.

2.11.1 – Pó de Serra

O pó de serra ainda é usado como agregado, tendo sido estudado no Building Research Station desde 1924, um estudo adicional foi realizado por PARKER em 1937.

As dosagens são normalmente de 1:1 a 1:4 (cimento e pó de serra) em volume, de acordo com o propósito. Sabemos que o pó de serra contém grande parte de celulose, também contém açúcares solúveis, ácidos, óleos, ceras, resinas e outras substâncias orgânicas em graus distintos, de acordo com o tipo da madeira que o produziu. Alguns dos pós de serra apresentam efeitos indesejáveis sobre resistência e endurecimento do cimento, no melhor dos casos conduz a uma incerteza sobre as propriedades do produto, tendo-se que fazer pré-tratamento para evitar problemas, tais como:

oxidação parcial;

impermeabilização;

neutralização com base para precipitar taninos;

acelerador de pega.

A maioria das misturas de pó de serra se tornam compatíveis com o uso de uma mistura aglutinante de cal e cimento.

A Tabela 2 mostra que a resistência obtida do concreto de pó de serra não é alta, porém a condutividade térmica apresenta uma mudança satisfatória com relação a outros concretos semelhantes. A contração depois de seco, é muito alta, quase 10 vezes maior que a maioria dos outros concretos leves, o que limita o uso deste material.

O concreto de pó de serra tem sido utilizado para acabamento de pisos sem juntas e cerâmicas para pisos, suas aplicações em muros tem tido êxito em lugares onde a estrutura pode movimentar-se tais como placas pré-fabricadas e firmadas entre pilares.

Os blocos de concreto de pó de serra que contém certa proporção de areia são agora utilizados comumente e dão bons resultados quando se usa em posições adequadas.

A areia tem o efeito de aumentar o peso e reduzir o valor de isolamento térmico, mas limita efetivamente as contrações após seco.

Tabela 2 - Propriedades do concreto de Pó de Serra, segundo SHORT & KINNIBURGH. (1967).

Misturas	Densidade do concreto superficialmente seco (Kg/m ³)	Resistência a (28 dias)		
		Compressão (Kg/cm ²)	Transversal (Kg/cm ²)	Condutividade térmica K (Kcal/mh°C)
1:1	1600	352	70	—
1:2	1200	123	39	≅ 248
1:3	880	49	18	≅ 248

1:4	640	18	11	≅ 174
-----	-----	----	----	-------

Na FEAGRI - Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, há várias construções feitas com materiais orgânicos, com pó de serra, como as calçadas em torno dos prédios, o piso e as paredes de galpões e bezerreiros construção de pocilgas, aviários. São feitos blocos com a matéria orgânica e assentados formando paredes. Existe até pesquisa sobre a produção de telhas. As peças utilizadas na FEAGRI são sempre peças pequenas, como blocos vazados de 9 x 19 x 39 cm com peso em torno de 3,0 kg. Os blocos similares de concreto pesam mais de 8,0 kg. Os blocos com o pó de serra suportam aos sete dias 2 toneladas e aos 28 sobe para 5 a 6 toneladas. Já os similares apresentam resistência aos 28 dias ao redor de 8 a 10 toneladas (BERALDO, 1996).

Na FEAGRI desenvolveram-se estudos e pesquisas com placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra com dimensões de 2 x 50 x 50 cm (GRANDI, 1995).

2.11.2 – Casca de Arroz

A produção de arroz gera diversos resíduos, como: palhas, grãos quebrados e cascas. As cascas não encontram aplicação direta, pois contem baixo valor nutritivo, alto caráter abrasivo, baixa densidade, alto teor de cinzas e alta resistência à degradação. Este material tem sido aproveitado na produção de aglomerados e na geração de energia elétrica, já que 1MW de energia é gerado a partir da queima de 1 tonelada de casca de arroz. Desse processo resta uma cinza contendo sílica em estado amorfo, que é capaz de gerar danos ao sistema respiratório levando a silicose. Apesar de conter outros nutrientes agregados (mais ou menos 3,5% relativos ao peso da sílica) não tem valor como adubo. Devido ao seu baixo custo, a sua baixa granulometria e alta área específica, a sílica da casca de arroz é motivo de vários trabalhos de pesquisa visando as seguintes aplicações: carbetos de silício, na formulação de cimento de baixo custo, como fonte de silício semicondutor, bem como para uso em substrato de componentes eletrônicos e também pode ser usado na produção de outros materiais, tais como carga em resina fenol-formaldeído, polipropileno e borrachas (HARIMA, 1996).

O descarte das cascas de arroz é um problema particularmente sério, e que requer especial atenção devido às grandes quantidades envolvidas e acumuladas nas proximidades dos moinhos e máquinas de arroz. As cascas, quando queimadas a céu aberto, deixam como resíduo uma cinza que apresenta bom potencial como carga, pois sua composição química consiste predominantemente de sílica.

Tabela 3 - Composição química da cinza da casca de arroz, segundo MEDEIROS, (1987).

Composto Químico	% em Peso
CaO	0,40
MgO	0,38
Fe ₂ O ₃	0,13
K ₂ O	1,22
Na ₂ O	0,13
Al ₂ O ₃	0,23
MnO	0,16
TiO ₂	0,01
P ₂ O ₅	0,96
SiO ₂ (sílica)	74,85

Dependendo de como a cinza é gerada, duas variedades são produzidas, as quais diferem principalmente pelo percentual em sílica.

A cinza branca origina-se pela queima da casca de arroz em ambiente redutor e é quase totalmente composta por sílica. A cinza preta, formada da queima em ambiente oxidante contém, além da sílica, uma boa quantidade de material orgânico. As duas variedades de cinza foram analisadas e encontrou-se que a Cinza Preta (CP), tem um teor de SiO₂ em torno de 70% e a Cinza Branca (CB), em torno de 90%. A composição química das cinzas está expressa na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição Química das cinzas da casca de arroz, segundo MEDEIROS, (1987).

Composto Químico	Cinza preta %/Peso	Cinza branca %/Peso
Cão	0,40	0,77
MgO	0,38	0,53
Fe ₂ O ₃	0,13	0,25
K ₂ O	1,22	1,05
Na ₂ O	0,13	0,30
Al ₂ O ₃	0,23	0,27

MnO	0,16	0,14
TiO ₂	0,01	0,01
P ₂ O ₅	0,96	1,00
SiO ₂ (sílica)	74,85	97,00
Perda por ignição	21,00	0,20

Tabela 5 - Composição Química do Resíduo de Casca de Arroz (excluído 12% de C) obtido por absorção atômica (% em peso), segundo SOUZA, *et al.* (1996).

Composto Químico	Recebida (% em peso)	Purificada (% em peso)
SiO ₂	96,25	99,5
TiO ₂	0,07	-
Cão	0,64	0,06
MgO	0,57	0,06
K ₂ O	1,69	0,02
Na ₂ O	0,16	0,02
Al ₂ O ₃	0,15	0,08
Fe ₂ O ₃	0,08	-
Mn ₂ O ₃	0,20	0,02

Segundo NAKATA, *et al.* (1989) os principais constituintes da casca de arroz são:

- a) celulose (38% em peso)
- b) lignina (22% em peso)
- c) resíduo inorgânico (40% em peso).

O resíduo inorgânico contém entre 87 e 97% em peso de Sílica, dependendo da espécie, clima e região geográfica do plantio.

2.11.3 - Estrutura da celulose - Conceito

Tomando como base os dados fornecidos por NAKATA, *et al.* (1989), sabe-se que a palha da casca de arroz possui 38% em peso de celulose, acrescenta-se aqui o estudo da celulose, efetuado por KLOCK, 2004, com o objetivo de esclarecer a interferência química da celulose com a matriz cimentícia:

a celulose é o composto orgânico mais comum na natureza. Ela constitui entre 40 e 50% de quase todas as plantas. Há estimativas de que cerca de 50 bilhões de toneladas deste composto químico são produzidas por ano.

a celulose está localizada principalmente na parede secundária das células vegetais.

o estudo da química da celulose foi iniciado em 1838 com Payen, mostrou por análise elementar que o tecido de plantas contém um componente majoritário com 44,4% de carbono; 6,2% de hidrogênio e 49,3% de oxigênio, o que é equivalente a uma fórmula empírica de $C_6H_{10}O_5$ e um peso molecular de 162.

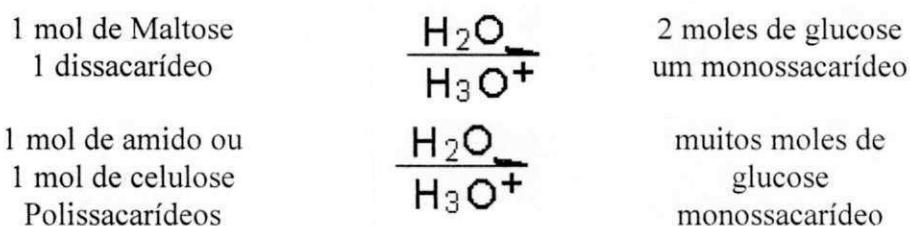
a análise do peso molecular da celulose indicava pesos muito maiores que 162, sendo evidente que a celulose era um alto polímero.

posteriormente foi provado que estas unidades derivam-se da condensação da D-glucose, (um açúcar simples - monossacarídeo hexose $C_6H_{12}O_6$).

a D-glucose é o principal combustível para a maioria dos organismos, é o monômero primário básico dos polissacarídeos mais abundantes, tais como o amido e a celulose.

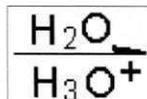
a designação D refere-se à posição do grupo OH à direita do átomo C assimétrico mais distante do grupo aldeído (Dextrogiro), quando acontece o contrário, isto é, o grupo OH encontra-se à esquerda do carbono 5, designa-se como L (Levogiro).

- o polímero celulose “puro” pode ser hidrolisado à D-glucose, podendo ser considerado como um polímero de anidrogucose, significando o prefixo anidro, que a água é perdida da unidade de glucose durante sua condensação em celulose.



Solomons. T. W. Graham - Química Orgânica 2 - 1976. Pág. 355.

1 mol de amido ou
1 mol de celulose
Polissacarídeos



muitos moles de
glucose
monossacarídeo

Solomons. T. W. Graham - Química Orgânica 2 - 1976. Pág. 355.

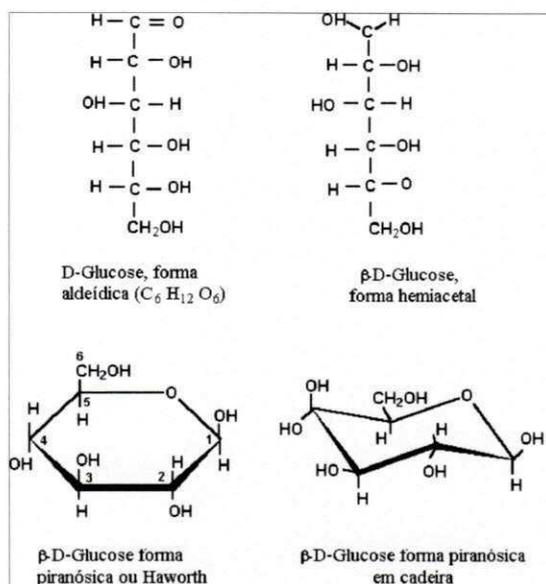


Figura 1 - Formas de representação gráfica da molécula de β-D-Glucose.

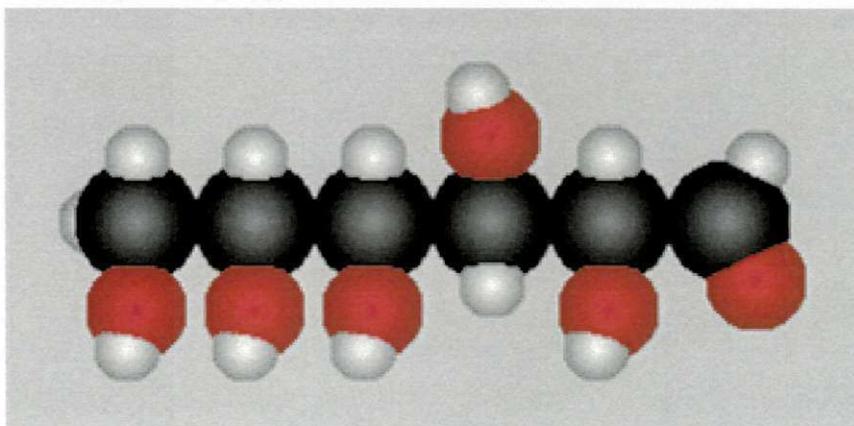


Figura 2 - Representação gráfica tridimensional da forma aldeídica da D-Glucose.

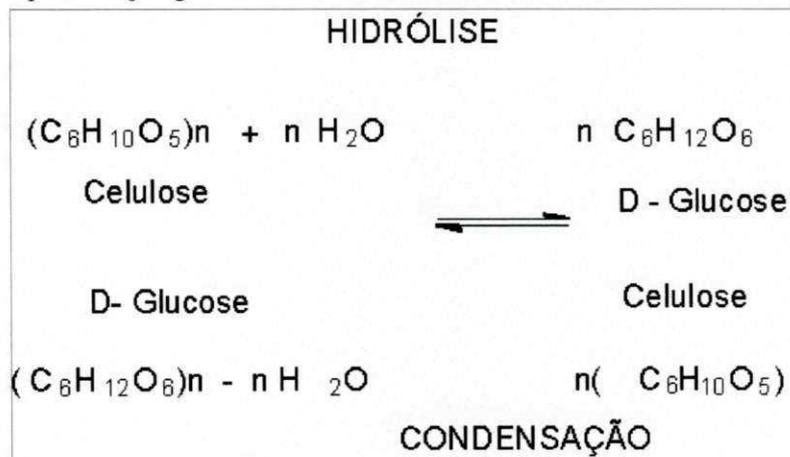


Figura 3 - Reações de Hidrólise e Condensação da D-Glucose e Celulose.

na hidrólise completa com ácidos fortes, a celulose produz apenas D-Glucose, mas a hidrólise parcial produz o dissacarídeo redutor celobiose, que é uma unidade repetitiva da celulose, possui uma ligação glicosídica β (1 \rightarrow 4); seu nome completo é O- β -D-glucopinanosil-(1 \rightarrow 4)- β -D-glucopirranose.

ligação 1,4 - β distingue a celulose da fração linear do amido que é um polímero 1,4 - α -D-anidroglicose. A ligação beta resulta numa rotação de 180 graus do plano de unidades alternadas de glucose resultando numa cadeia molecular balanceada que torna possível uma molécula de cadeia linear capaz de se orientar em estruturas fibrosas e cristalinas de alta resistência à tensão, ao contrário das moléculas de amilose que assumem formas espirais e não formam fibras sob condições normais.

os polissacarídeos possuem duas funções biológicas principais como forma armazenadora de combustível e como elementos estruturais.

na maioria dos vegetais, o amido é a principal forma de armazenamento de combustível, enquanto que a celulose é o principal componente estrutural extracelular das paredes celulares rígidas e dos tecidos fibrosos e lenhosos dos vegetais.

uma vez que as células dos vegetais devem ser capazes de resistir a grande diferença de pressão osmótica, entre os compartimentos dos fluidos extracelular e intracelular, elas necessitam de paredes celulares rígidas, para impedir o intumescimento. Nos vegetais e nas árvores de grande porte, as paredes celulares precisam não apenas contribuir para a força física ou rigidez dos tecidos do caule, das folhas e da raiz, mas também precisam ser capazes de sustentar grandes pesos.

o polissacarídeo mais abundante é a celulose, responsável pela estrutura e pela parede celular do reino vegetal.

a celulose é o principal constituinte da madeira, do papel, sendo o algodão quase celulose pura.

Celulose é um polissacarídeo que se apresenta como um polímero de cadeia linear com comprimento suficiente para ser insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, à temperatura ambiente, consistindo única e exclusivamente de unidades de β - D - anidroglicopirranose, que se ligam entre si através dos carbonos 1- 4, possuindo uma estrutura organizada e parcialmente cristalina.

As moléculas de celulose são completamente lineares e tem forte tendência para formar pontes de hidrogênio **inter e intramoleculares**. Feixes de moléculas de celulose se agregam na forma de microfibrilas na qual regiões altamente ordenadas (**crystalinas**) que se alternam com regiões menos ordenadas (**amorfás**). As microfibrilas constroem fibrilas e estas constroem as fibras celulósicas. Como consequência dessa estrutura fibrosa a celulose possui alta resistência à tração e é insolúvel na maioria dos solventes. A análise de micrografia eletrônica indica que as moléculas de celulose estão organizadas em feixes de cadeias paralelas formando fibrilas, Figura 6, SOLOMONS.

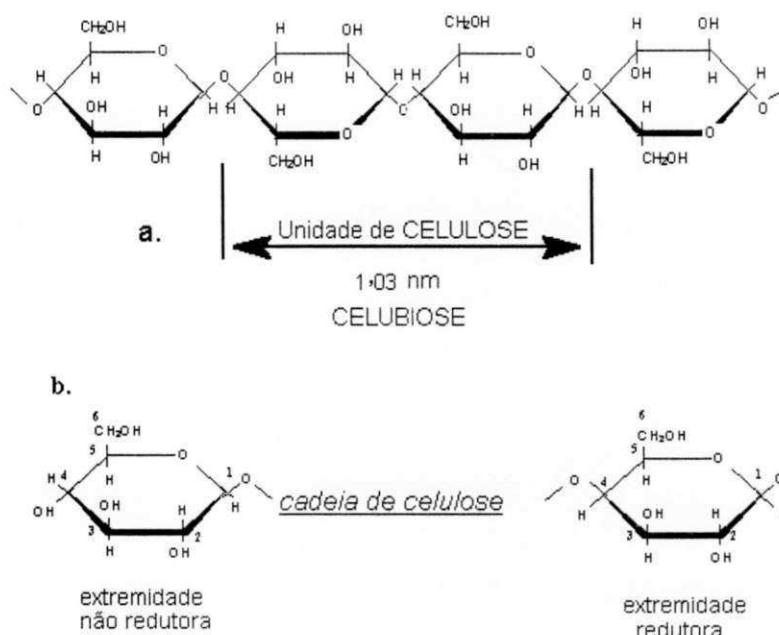


Figura 4 - Fórmula da Celulose. a) Parte central da cadeia molecular; b) Grupos terminais redutores e não redutores.

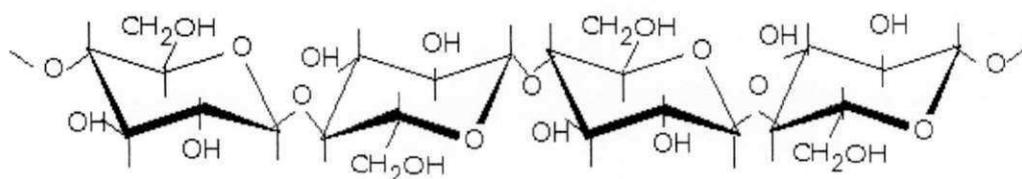


Figura 5 - Fórmula stereo química da celulose.

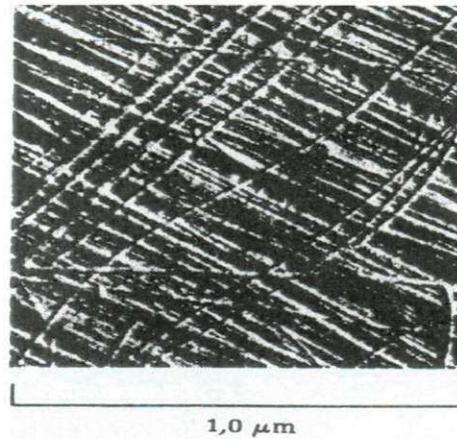


Figura 6 - Micrografia eletrônica da parede celular de uma alga. A parede consiste em camada sucessivas de fibrilas de celulose em arranjo paralelo [D.M.Jones, Adv. Carbohydr. Chem. 19: 219 (1965)].

As paredes celulares dos vegetais superiores podem ser comparadas a caixas de concretos armados, correspondentes às fibrilas de celulose às barras de aço, e o material da matriz ao concreto.

a madeira contém outra substância polimérica, a lignina, que é um polímero de álcoois aromáticos.

a estrutura cristalina da celulose é caracterizada por análise de difração de raios X e por métodos baseados na absorção de luz polarizada infra-vermelha.

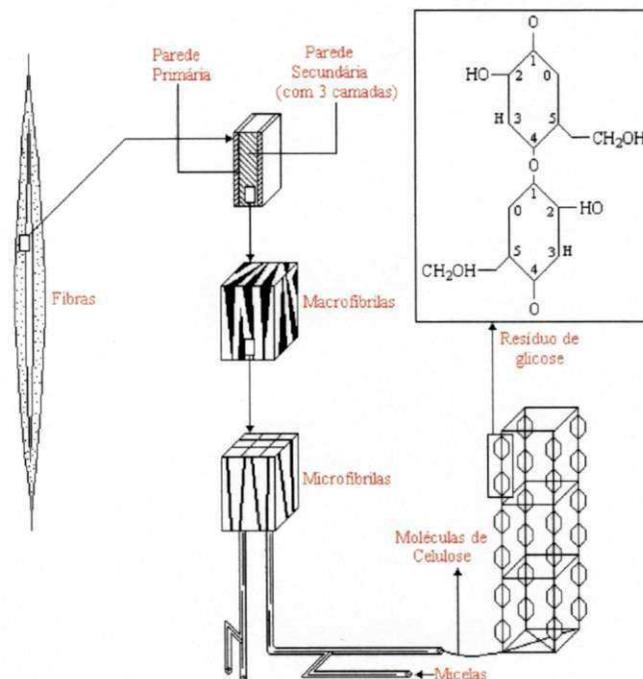


Figura 7 - Esquema de formação da parede celular a partir da unidade básica da celulose, (adaptado de IPT, 1988).

a massa molecular varia muito (de 50.000 a 2.500.000) dependendo da origem da amostra. O comprimento da cadeia é expresso em termos de **grau de polimerização GP**, dado pela expressão: **GP = massa molecular da celulose / massa molecular de uma unidade glucosídica.**

os grupos hidroxilas (OH), são responsáveis pelo comportamento físico e químico da celulose, sendo capazes de formar dois tipos de pontes de hidrogênio, em função do seu posicionamento na unidade glucosídica. Existem pontes de hidrogênio entre grupos OH de unidades glucosídicas adjacentes da mesma molécula de celulose, que são ligações INTRAMOLECULARES, responsáveis por uma certa rigidez das cadeias unitárias. Também ocorrem ligações entre grupos OH de moléculas adjacentes de celulose, constituindo as chamadas ligações INTERMOLECULARES.

os feixes de cadeias moleculares são unidos por pontes de hidrogênio (forças de Van der Waals) intermoleculares. assim o arranjo é compacto, e as regiões cristalinas, consequência do grande número de ligações, resultam da forte interação entre as moléculas de celulose.

as estruturas primárias formadas pelas pontes de hidrogênio, são as fibrilas, que formam por sua vez as camadas da parede celular.

as pontes de hidrogênio não ocorrem somente com hidroxilas da cadeia celulósica, mas também com as hidroxilas da água.

a celulose nativa é parcialmente cristalina e o grau de cristalinidade medido por difração de raio X varia de 50 a 70%, também medidas pelo mesmo processo indicam que a cada ~ 500 Angstroms de celulose cristalina, a estrutura apresenta regiões amorfas.

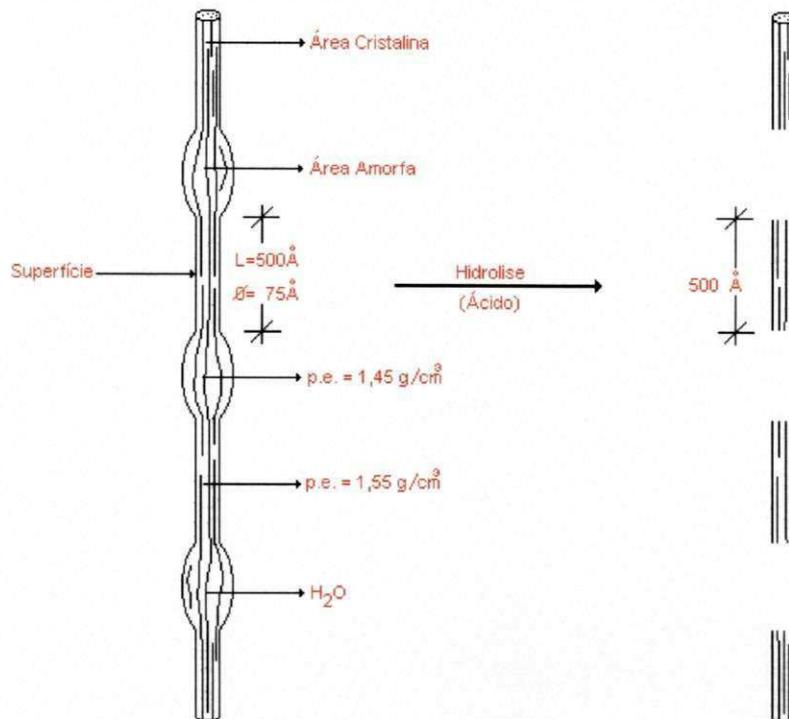


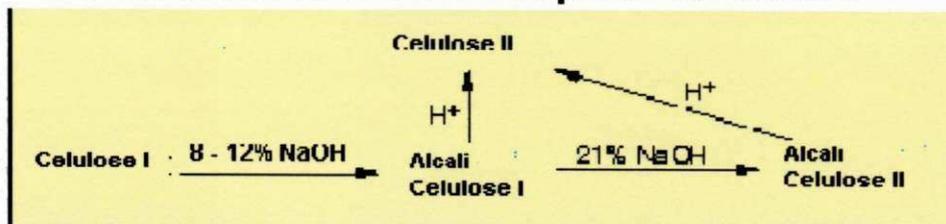
Figura 8 - Esquema representativo das regiões cristalinas e amorfas da celulose na fibrila elementar. apesar da existência de inúmeras hidroxilas em sua cadeia a celulose cristalina é de difícil dissolução. Termodinamicamente, para que a dissolução ocorresse espontaneamente, a variação de energia livre de Gibbs (ΔF) deveria ser negativa para o processo, isto é:

$$F = \Delta H - T \cdot \Delta S < 0 \quad (T = \text{temperatura}).$$

para solventes de baixa massa molecular a entalpia (ΔH) é positiva e de elevada grandeza, o que significa que uma grande quantidade de energia deveria ser posta no sistema para sobrepujar as forças de atração existentes entre as moléculas de celulose; já a entropia (ΔS) é positiva, mas de pequena magnitude, isto ocorre porque o ganho de entropia das moléculas de celulose, na transição de um estado mais ou menos ordenado para um estado desordenado em solução, é pequeno por serem as cadeias celulósicas bastante rígidas, não podendo assumir muitas configurações como uma macromolécula flexível.

o grupo funcional na molécula de celulose tem uns efeitos apreciáveis, que explica suas propriedades física e química:

Conversão da Celulose I para Celulose II



Descrição gráfica da conversão da celulose I

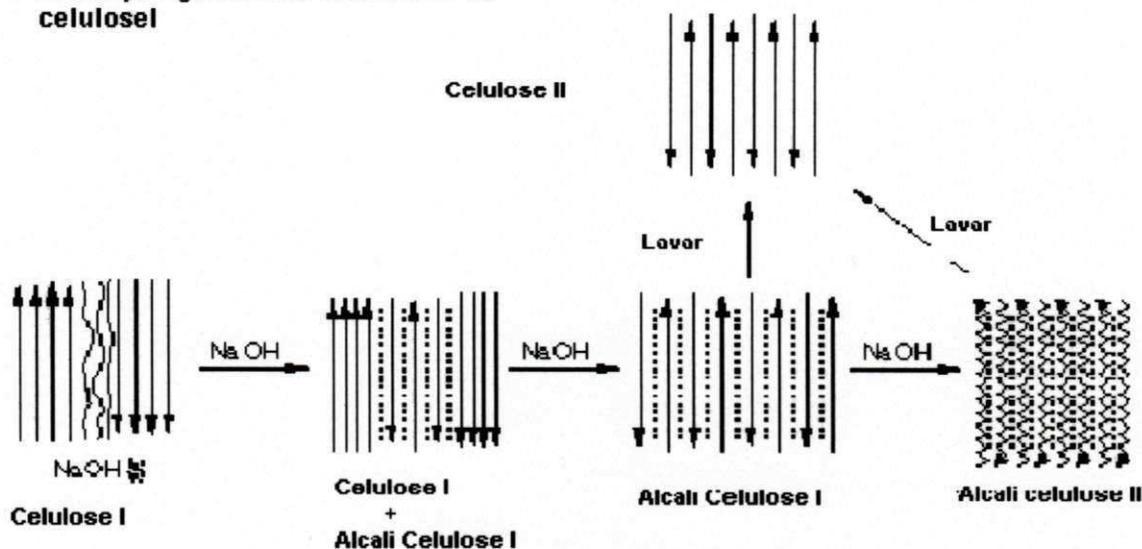


Figura 9 - Formas Cristalina da Celulose

2.12 - HISTERESE

A celulose, embora seja insolúvel em água, possui grande afinidade com esta. Quando seca, absorve a umidade do ar até alcançar um equilíbrio com a atmosfera; a quantidade de água é progressivamente aumentada. Se a absorção é elevada até o ponto de saturação e a umidade relativa do ar é progressivamente diminuída, a quantidade de água absorvida também decresce de forma progressiva, porém os novos valores de equilíbrio, para uma dada umidade relativa do ar são ligeiramente mais altos do que os para a curva de absorção. Este fenômeno é conhecido como Histerese.

A explicação para o fenômeno da Histerese baseia-se na interconversão da ponte de hidrogênio de celulose-água e celulose-celulose. Durante a dessorção, muitas pontes de hidrogênio entre a celulose e a água, são convertidas em pontes de celulose-celulose, as quais somente podem ser desfeitas pela absorção de água à pressão de vapor elevada.

O fenômeno da Histerese também é observado com outros líquidos polares além da água. KLOCK, (2004)

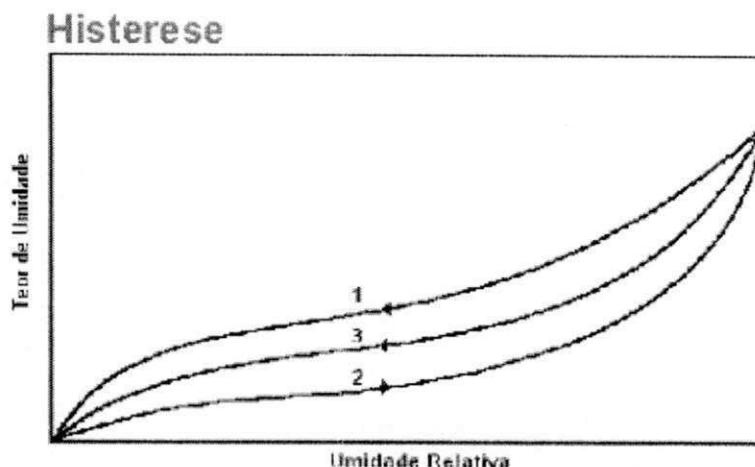


Figura 10 - Histerese. Adsorção

Adsorção do tipo “Sigmóide”, que é sempre polimolecular. Toda formação de soluções sólidas (adsorção de vapor de água em celulose e madeira) segue este tipo. Neste caso, a adsorção de superfícies existentes é baixa em comparação à adsorção que ocorre dentro das substâncias sólidas (parede celular).

2.13 – ESTUDO QUÍMICO DA LIGNINA

Conforme foi mostrado anteriormente, a palha de arroz tem 22% em peso de lignina, substância de constituição existente em plantas e madeira seca. Na fabricação do papel a lignina é separada da celulose por diversos processos, que são conhecidos por polpa Kraft ou alcalina, polpa ao sulfito (ácido) e polpa semiquímico ao sulfito neutro, Polpa à soda, e outros.

Segundo Abreu e Oertel (1999), ligninas são substâncias de estruturas complexas, macromoléculas tridimensionais de origem fenilpropanóidica constituídas de unidades básicas de p-hidroxifenil-propano, guaiacilpropano e siringilpropano, encontradas na maioria das plantas superiores em concentração mais alta na lamela média do que nas subcamadas da parede secundária dos traqueóides, vasos, fibras, etc. Elas se enquadram entre as substâncias naturais mais abundantes da face da terra, ocupando cerca de 30% dos carbonos da biosfera (Fengel e Wegener 1984) e são exclusivamente formadas dentro da parede celular. Além disso, diferentes teores de lignina e diferentes formulações constitucionais baseados em unidades de p-hidroxifenil-propano, guaiacilpropano e siringilpropano foram observados em diferentes táxons de espécies arbóreas (Albuquerque,

Abreu e Andrade, 1995). Estudos recentes demonstram a existência de expressões de gens relacionados à lignificação durante o estágio de diferenciação celular. Certamente estes argumentos devem contribuir na elucidação do mecanismo de controle constitucional

e no processo de deposição da lignina na parede celular. Todavia, estes estudos são realizados sobre um restrito número de exemplares vegetativos (Fukuda, 1996). Neste contexto, a biodiversidade vegetal parece ser um caminho aberto a novas investigações sobre a elucidação do modelo estrutural, do caminho biossintético na formação da lignina e conseqüentemente dos agentes controladores deste processo. As ligninas, cuja composição decorre da combinação dos álcoois coniferílico e p-cumarílico, apresentam estruturas moleculares de natureza mais complexa (Forss e Fremer, 1983) do que se as mesmas fossem constituídas da combinação dos precursores álcoois coniferílico e sinapílico (Abreu, 1994; Higuchi, Shimada e Nakatsubo, 1997 e Whethen e Sederoff, 1995) Figura. Provavelmente o aumento do número de ligações intermonoméricas apresenta um papel importante neste contexto. Essa variação composicional constitui também um indicativo dos valores da concentração da unidade subestrutural β -O-4 (éter fenilglicerol- β -aril) (Hwang, 1985). Essa unidade tem sido considerada de base estrutural nas ligninas isoladas de plantas.

Uma característica peculiar às ligninas (presença de grupamento éster), cuja propriedade confere maior flexibilidade ao caule, foi observada em Poáceas e em Pinus (Eraso e Harley, 1989; Lanfang e Terashima, 1991; Hahlbrock, 1990; Sarkanen, Chang e Allan, 1967).

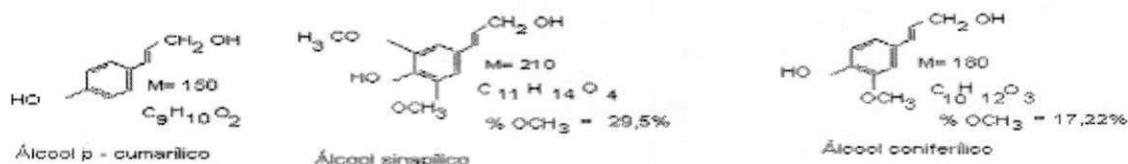


Figura 11 - Precursores da lignina

2.14 – INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS ORGÂNICOS COMO ADITIVOS FLUIDIFICANTES

Como acelerador de pega usa-se cloreto de cálcio, silicato de sódio ou gesso. Já como retardador de pega têm-se açúcares ordinários, a celulose e outros produtos orgânicos, que funcionam como fluidificantes.

A ação dos retardadores é basicamente química onde se tem a alteração do pH e/ou a solubilidade dos compostos anidros e hidratados do cimento. Sobre os silicatos, os retardadores podem agir de duas maneiras:

dificultando a dissolução da cal (CaO);

colmatando a superfície dos grãos de silicato por meio de uma película pouco permeável.

Sobre os aluminatos também se tem a ação dos retardadores de duas maneiras:

- 1) adicionando cal à água de mistura;
- 2) retardando a dissolução dos aluminatos por meio dos ânions de ácidos fortes (Cl e SO₄).

Os principais retardadores são os ligninsulfatos, os ácidos e sais hidrocarboxílicos e os hidratos de carbono (açúcares e seus compostos).

VENUAT (1972) *apud* BAUER (1985), mapeou os efeitos dos retardadores de pega, glucose e sacarose, com relação às propriedades mecânicas de resistência à compressão e uma argamassa padrão. Pode-se observar que a argamassa padrão com mais 1% de glucose passa a ajudar no ganho de resistência em idades futuras, conforme TABELA 2.6. Os aditivos empregados são os açúcares (glucose e sacarose) e o cimento Portland (CPA 400) forma a argamassa padrão com traço 1:3:2, onde 1 é a quantidade de cimento em peso e 3 é a quantidade de agregado e 2 quantidades de água em volume de cimento.

A TABELA 2.6 apresenta uma comparação entre uma argamassa padrão e dois aditivos a sacarose e a glucose. Essa comparação mostra que tanto a glucose como a sacarose não interfere na resistência da argamassa, pelo contrário, segundo VENUAT (1972), os aditivos retardadores aumentam a resistência à compressão ao longo do tempo.

Tabela 6 – Aditivos retardadores de pega e seus efeitos sobre as Resistências Mecânicas, segundo VENUAT (1972) *apud* BAUER, (1985).

Idade Dias		1		2		7		28		90	
Aditivo	Dosagem	Tf	C								
Argamassa Padrão	0	36	120	49	220	77	385	88	462	90	550
Sacarose	0,5%	30	102	51	220	80	480	83	610	84	640
	1,0%	4	13	29	120	77	440	81	550	96	615
Glucose	1,0%	20	72	50	242	68	375	76	545	81	600
	2,0%	1	10	26	85	56	285	75	465	81	525

Tf - Tração e flexão (Kg/cm²)

C - Compressão (Kg/cm²)

Um dos efeitos da adição da glucose nas argamassas é o aumento da resistência à compressão ao longo do tempo. A Figura 12 compara uma argamassa padrão com outras que receberam doses diferentes de glucose. Como se pode ver nessa figura, o alto teor de glucose (2%) não gera modificações importantes além do retardamento da cura. Contudo, um baixo teor de glucose (1%) leva a um ganho de resistência superior a 10% após 28 dias e apresenta efeito retardante de cura apenas no 1º dia.

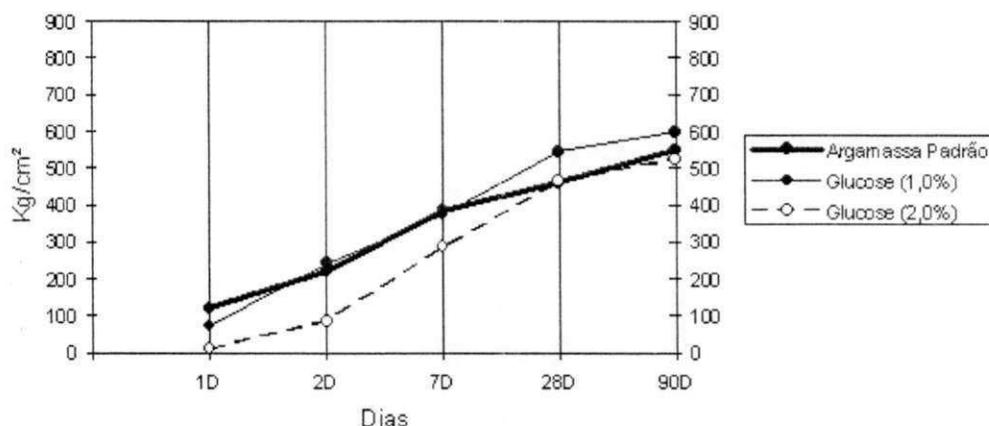


Figura 12 - Efeito da glucose sobre a resistência à compressão, segundo VENUAT (1972) apud BAUER (1985).

Na Figura 13 a sacarose, segundo VENUAT (1972) apresenta o efeito de aumento de resistência à compressão ao longo do período de cura. Para dosagem de 0,5% de sacarose em peso com cimento, não se percebe grandes alterações de efeito retardador, porém, após 7 dias passa-se a ter ganhos da ordem de 20% na resistência. Já para dosagem superior (1%) tem-se efeito retardante sensível da ordem de 10% nos dois primeiros dias, seguido de um aumento de resistência à compressão da ordem de 15% a partir do 7º dia.

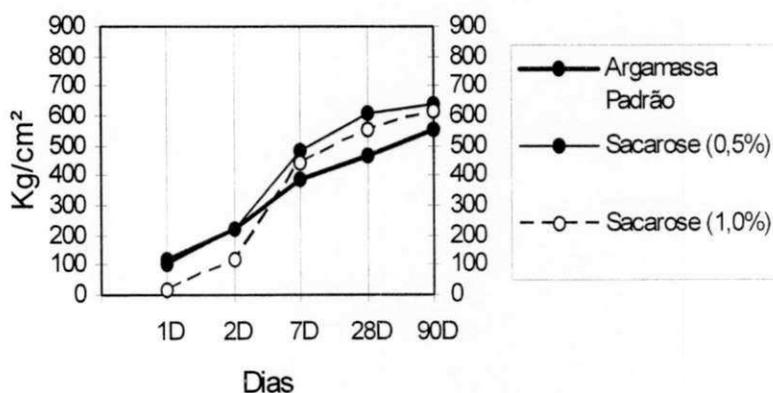


Figura 13 - Efeito da sacarose sobre a resistência à compressão, segundo VENUAT, (1972) apud BAUER (1985).

A Figura 14 compara a argamassa padrão com outras que receberam doses diferentes de glucose. A com teor de 2% de glucose apresenta um grande efeito retardador

(96%) no primeiro dia, mantendo sua capacidade retardadora, durante o período de cura, em valores próximos a 25%, apresentando uma perda de resistência à tração de 10% no fim do processo de cura. Para a argamassa com menor teor de glucose (1%), tem-se um efeito retardante no primeiro dia e passando depois a apresentar uma perda de resistência à tração, da ordem de 10%.

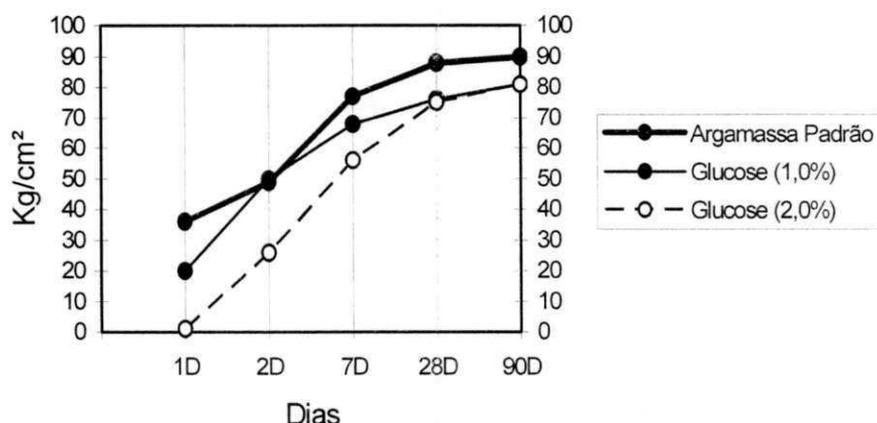


Figura 14 - Efeito da glucose sobre a resistência à tração na flexão, segundo VENUAT, (1972) apud BAUER (1985).

A Figura 15 traz a comparação da resistência à tração na flexão entre uma argamassa padrão e uma argamassa aditivada com sacarose em duas dosagens, uma a 0,5% e outra a 1,0%.

A argamassa a 0,5% apresenta variações de resistência à tração na flexão inexpressiva. A argamassa a 1,0% apresenta variações significativas de redução à resistência nos primeiros dias, em torno de 70%, e melhorando, chegando a apresentar um ganho de resistência de 10% no fim do processo de cura.

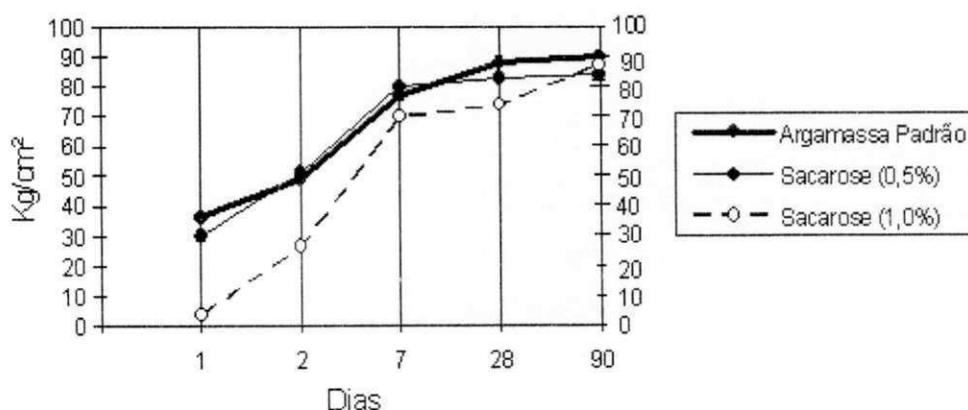


Figura 15 - Efeito da sacarose sobre a resistência à tração na flexão, segundo VENUAT, (1972) apud BAUER (1985).

As Tabela 7 e Tabela 8 apresentam os efeitos do aditivo glicose sobre o tempo de pega e o calor de hidratação

Tabela 7 - Aditivo Glucose e seus efeitos em diferentes dosagens, com relação ao Tempo de início e fim de pega, segundo VENUAT (1972) apud BAUER (1985).

Produto	Dosagem Glucose (%)	Tempo de pega (h min)	
		INICIO	FIM
Argamassa Padrão	-	3,10	7,00
Glucose	1,0	9,00	15,00
Glucose	2,0	14,00	22,30

Tabela 8 - Efeito de diferentes dosagens do aditivo glucose e seu calor de hidratação ao longo do tempo, segundo VENUAT (1972) apud BAUER (1985).

Tempo	Calor de Hidratação (cal/g)		
	Argamassa Padrão	Argamassa Glucose 1,0%	Argamassa Glucose 2,0%
12 horas	22	2	2
1 dia	35	2	2
2 dias	48	20	2
3 dias	55	45	2
4 dias	56	53	2
5 dias	56	60	6
7 dias	60	60	12
9 dias	60	61	24
12 dias	61	67	49
15 dias	63	70	70
18 dias	65	72	72

A Figura 16 ilustra a comparação entre a variação de calor de hidratação para dosagens diferentes de glucose.

Pode-se observar que o alto teor de glucose (2,0%) apresenta um baixo calor de hidratação nos quatro primeiros dias. Já a argamassa com teor de glucose (1,0%), o baixo calor de hidratação é apenas durante o tempo de pega. No endurecimento, tem-se a elevação brusca do calor de hidratação para a argamassa com 1,0% de glucose, já para a argamassa com 2,0% de glucose a elevação do calor de hidratação é a partir do 7º dia.

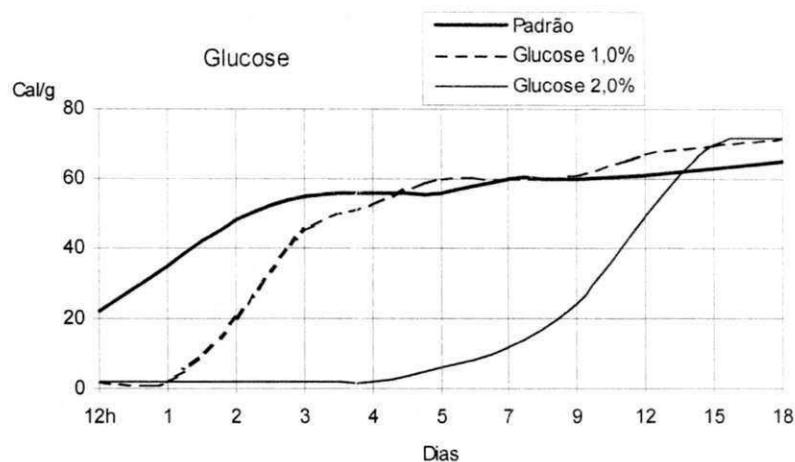


Figura 16 - Efeito da sacarose e glucose sobre o calor de hidratação, segundo VENUAT, (1972) apud BAUER (1985).

Como pode ser observada, a introdução da casca de arroz “in natura” deve produzir importantes alterações químicas e físicas no produto final. Se de um lado tem-se a introdução de materiais leves; por outro lado, tem-se a adição de produtos químicos, que melhoram o desempenho final da argamassa, tais como: Celulose e Lignina parcialmente separada.

3 – METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os materiais utilizados e aos métodos de ensaios, para a determinação das cargas de ruptura em placas de argamassa armada com traço tradicional e argamassa armada com traço especial.

3.1 – MATERIAIS

Para a realização deste trabalho foram empregados os seguintes materiais:

- a) Cimento Portland;
- b) Areia lavada;
- c) Cal Hidratada;
- d) Palha da Casca de Arroz;
- e) Tela de Estuque;

3.1.1 - Cimento Portland

O cimento utilizado foi o cimento Portland CP II F 32, da marca Itaú em embalagem de 50 Kg, jazida de Nobres – MT. A Tabela 9 apresenta as características do produto através de ensaios feitos pelo fabricante.

Tabela 9 – Propriedades do cimento utilizado, segundo dados do fabricante.

Método de Ensaio	Propriedades	Resultados
NBR-7251	Massa unitária no estado solto	1,438 Kg/dm ³
NBR-6474	Massa específica	3,215 Kg/dm ³
NBR-7215	Resistência à compressão MPa	1 dia – MPa 3 dias – 24 MPa 7 dias – 28 MPa 28 dias – 36 Mpa
NBR-7224	Superfície específica Blaine	360 m ² /Kg
NBR-11579	Finura. Resíduo na peneira 200	3,0%
NBR-11581	Tempo de início da pega	Início – 175 min. Fim – 255 min.

3.1.2 - Areia Lavada

Foi utilizada a areia do rio Cuiabá, esse material é normalmente empregado nas construções da cidade. Para seu emprego foi feitas à retirada de materiais orgânicos e impurezas de uma quantidade necessária para realização do preparo dos corpos-de-prova (placas) posteriormente, a areia foi passada nas peneiras segundo as normas NBR-7211 (1982) e NBR-7217 (1987) da ABNT.

As quantidades de material retido e acumulado do ensaio de peneiramento, assim como a curva granulométrica encontra-se apresentadas na Tabela 10 e Figura 17 - Curva granulométrica areia lavada do Rio Cuiabá.

Tabela 10 - Areia Lavada do Rio Cuiabá - Composição granulométrica.

Peneira # (mm)	Porcentagem Retida	Porcentagem Retida Acumulada
9,5	0	0
6,3	0	0
4,8	0	0
2,4	1	2
1,2	2	4
0,6	8	11
0,3	57	68
0,15	30	98
Fundo	2	100
Soma	100	283

Da Tabela 3.4 encontramos que o diâmetro máximo característico é 1,2 mm e o módulo de finura é 1,84 (NBR 7211).

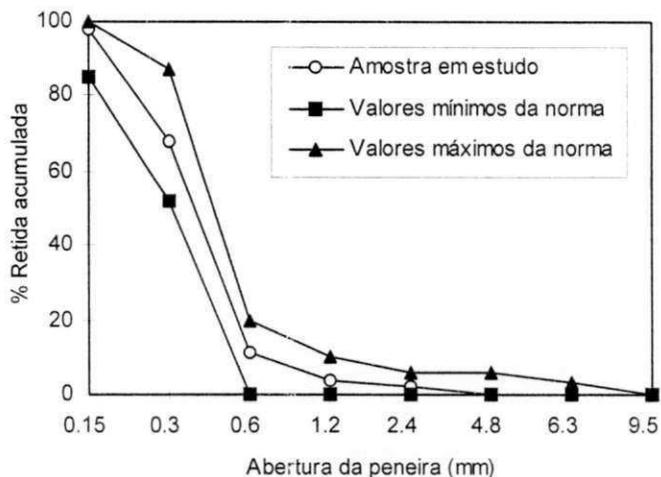


Figura 17 - Curva granulométrica areia lavada do Rio Cuiabá.

Tabela 11 - Ensaio de caracterização do agregado empregado, Areia Lavada.

Método	Descrição	Resultados
NBR 7218	Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis	0 %
NBR 7219	Determinação do teor de materiais pulverulentos	0,7 %
NBR 7251	Massa unitária do agregado em estado solto	1,46 kg/dm ³
NBR 7211	Dimensão máxima característica	1,2 mm
NBR 7211	Módulo de finura	1,84
NBR 9776	Massa específica (frasco de Chapman)	2,66 kg/dm ³
NBR 6467	Coefficiente de inchamento médio do agregado = 30 % % umidade crítica = 3 %	1,3
NBR 7220	Impurezas orgânicas	< 300,00 ppm

3.1.3 - Cal Hidratada

Após a pesquisa bibliográfica optou-se pelo uso da cal hidratada comum para argamassa, devido às informações de SWAMY (1990) e BERGER et al (1972) sobre ação da CaOH junto com as fibras de madeira, alterando a pega e aumentando a resistência das

fibras. Esta idéia é uma extrapolação de pesquisa de GRANDI (1995), pois existe uma semelhança entre a casca de arroz e o pó de serra.

Segundo dados fornecidos pelo fabricante, EMAL – Empresa de Mineração Aripuanã Ltda, Caieira Nossa Senhora da Guia – MT, a amostra (CH-1 cal hidratada especial) utilizada apresenta as seguintes características químicas:

Umidade	0,45%
Perda ao fogo.....	25%
Óxidos locais na base de Não Voláteis (CaO e MgO)	98,8%
Resíduos insolúveis.....	9,14%
Anidrido Carbônico (CO ₂).....	5,22%
Trióxido de enxofre (SO ₃)	0,3%
Óxido de cálcio combinado (como CaSO ₄).....	0,21%
Óxido de cálcio combinado (como CaCO ₃)	6,63%
Óxido de cálcio hidratado e não hidratado	62,16%
Água combinada.....	19,78%
Óxido de cálcio hidratado	61,51%
Óxido de cálcio não hidratado.....	0,65%
Óxido de magnésio hidratado.....	não detectado
Óxido de magnésio não hidratado	não detectado

O fabricante EMAL forneceu as propriedades da cal hidratada de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 - Propriedades da cal hidratada, segundo dados do fabricante.

Método	Propriedade	Resultados
NBR 7251	Massa unitária no estado solto	0,64 kg/dm ³
NBR 6474	Massa específica	2,6 kg/dm ³
NBR 7224	Superfície específica Blaine	913 m ² /kg
NBR 9206	Plasticidade	125
NBR 9207	Incorporação da areia kg	2,5
NBR 9289	Peneira finura ABNT 0,6 mm	0,28%
	0,75 mm	11,2%
NBR 9290	Índice de retenção de água	82%

A amostra analisada atende às exigências da NBR-7175, quanto aos parâmetros determinados.

3.1.4 - Casca de arroz

A escolha da casca de arroz beneficiada foi realizada através de visitas em três beneficiadoras localizadas em Cuiabá - MT, onde foi possível escolher o tipo da casca proveniente do arroz mais comercializado na região.

Utilizou-se casca de arroz obtida de máquinas de beneficiamento do Bairro Bela Vista da Cidade de Cuiabá, a espécie mais beneficiada é o arroz tipo agulhinha do sequeiro. Os resultados encontrados no ensaio estão mostrados na Tabela 13, onde foram observadas as homogeneidades da granulometria da casca de arroz. Praticamente todo o material tem dimensão de 2 mm.

Tabela 13 – Ensaio de granulometria da casca de arroz empregada nas argamassas.

Medida de malha (mm)	% retida
12,7	0
9,52	0
4,76	1
2,00	98
< 2,00	1

A dimensão 2 mm corresponde ao diâmetro dos grãos. Trata-se de um material com forma prismática com uma dimensão predominante sobre as demais. A interferência pode vir da quebra destas partículas “ao meio” por flexão ou por dificuldade na uniformização da argamassa produzida.

3.1.5 - Água de Amassamento

A água utilizada nas peças de argamassa armada com palha de casca de arroz foi a água de abastecimento normal da cidade de Cuiabá, sendo tratada pela companhia de abastecimento de água da cidade, SANECAP – Companhia de Saneamento da Capital.

Características da água utilizada nas moldagens das peças de argamassa armada e corpos de prova fornecida pela SANECAP, (2002).

PH de 6,0 a 6,7

Alcalinidade de 18 a 27 mg/L de CaCO₃

Turbidez < 1 Unidade de turbidez

Cor até 5 UH

Oxigênio consumido 0,8 a 1,2 mg/L

Ferro igual a 0 (zero) mg/L na forma Fe⁺⁺⁺

Fosfato igual a 0 (zero) mg/L

Nitrogênio amoniacal igual a 0 (zero)

Dureza de 18 a 25 mg/L de CaCO₃

Coliformes totais e fecais ausente

Dureza de 18 a 25 mg/L de CaCO_3
Coliformes totais e fecais ausente
Cloretos de 4 a 5 mg/L de Cl^-
Sulfetos e Sulfatos indeterminados

3.1.6 - Tela de estuque

A tela de estuque do tipo deployê, da marca Gerdau mostrada na Figura 18, é também utilizada no preparo de peças para isolamento térmico, vedação em lajes de concreto, câmaras frigoríficas e acústicas e em geral na construção civil.

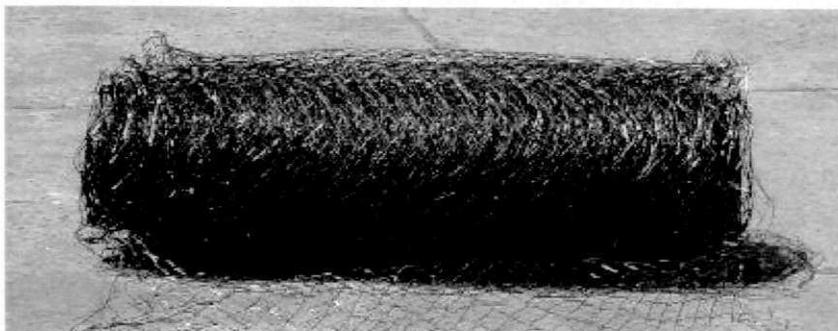


Figura 18 – Tela de Estuque empregada nos painéis de argamassa armada.

3.2 - MÉTODOS

3.2.1 - Plano de ação dos experimentos

Foi traçada uma caracterização dos materiais, através de informações dos fabricantes e fornecedores. Os materiais sem caracterização foram feitos sua caracterização por semelhança e adaptação das normas existentes.

Para materiais de uso cotidiano em obras como cimento, cal, que são encontradas normalmente no mercado, usaram-se especificações dos fabricantes, para os demais foram feitos ensaios.

3.2.1.1 – Descrição do Ensaio Expansibilidade

Para realizarmos a determinação da expansibilidade da casca de arroz, baseou-se no Método de Ensaio da ASTM - D 4792 (1995). Este método de ensaio consiste em avaliar a expansão volumétrica de amostras prensadas para acelerar a reação de expansão em amostras submersas em água à temperatura ambiente.

3.2.1.2 – Absorção de Água

Para realizarmos a determinação da absorção de água por imersão baseou-se na NBR - 9778 (1987). Este ensaio foi realizado com o objetivo de determinar a absorção de

cilíndricos de 50 mm de diâmetro e altura de 100 mm, 24 horas depois da confecção dos corpos-de-prova os mesmos foram colocados em um tanque com água por 72 horas até que fossem atingidas massas constantes durante a pesagem num intervalo de 6 horas, dessa forma obteve-se a massa saturada, depois se levou os corpos-de-prova a estufa num intervalo de 4 horas com temperatura de 90⁰C e obteve-se a massa seca, com esses dados e através da equação 3.1 determinou-se a absorção de água:

$$AAI = \frac{M_{\text{saturada}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} \times 100 \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

AAI = Absorção de água por imersão, em porcentagem (%);

Mseca = Massa do corpo-de-prova seco, em gramas (g);

M saturada = Massa do corpo-de-prova saturado, em gramas (g).

3.2.1.3 – Massa Específica

Em referência a NBR-7190 (1997), pode-se definir dois tipos de massa específica para materiais pulverulentos de origem vegetal, a massa específica básica como sendo a massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, sendo dada por:

$$\rho_{\text{bas}} = \frac{m_{\text{seca}}}{v_{\text{saturado}}} \quad \text{Equação 3.2}$$

m_{seca} = massa seca da casca de arroz, em gramas (g);

v_{saturada} = volume saturado da casca de arroz, em centímetros cúbicos (cm³).

O volume saturado é determinado pelas dimensões finais do corpo-de-prova submerso em água até que atinja massa constante ou com no máximo uma variação de 0,5 % relação à medida anterior.

Amassa específica aparente, ρ_{ap}, é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova com a casca de arroz seco, sendo dada por:

$$\rho_{\text{ap}} = \frac{m_{\text{seca}}}{v_{\text{saturado}}} \quad \text{Equação 3.3}$$

m_{seca} = massa seca da casca de arroz, em gramas (g);

v_{seco} = volume seco da casca de arroz, em centímetros cúbicos (cm³).

Inicialmente coletou-se a casca de arroz, retirando-se as impurezas através das peneiras 4,7; 2,0 e placa de fundo. Este material foi colocado em estufa para secagem a uma temperatura de 100 °C, durante 48 horas, após este processo foram obtidos os resultados da massa específica aparente. Para obtenção da massa específica saturada o material a casca de arroz foi deixada submersa em água para inchamento na temperatura ambiente por 48 horas, em seguida escoou-se a água e fez-se a pesagem para obtenção dessa massa específica.

3.2.1.4 - Dados relativos ao traço

a pesquisa em pauta tem-se dois materiais a mais na argamassa armada, a cal hidratada (CaOH₂) e a palha de casca de arroz.

Este trabalho se propõe a comparar 3 (três) traços A, B, C, dentro das faixas, a saber: 1:3, 1:1,5 e 1,5:1 sendo a água 20% do volume dos traços e 3 (três) traços onde o agregado miúdo (areia lavada) foi substituído por 50% em volume de palha de casca de arroz, onde se tem o traço chamado de Ac (traço A + casca); Bc (traço B + casca) e Cc (traço C + casca).

Pra a confecção dos corpos-de-prova foram empregados três traços A, B e C, sendo o traço A composto pelos seguintes elementos: 15% de cimento, 5% de cal, 60% de areia lavada e 20% de água. Para o traço B foram empregados os seguintes elementos: 24% de cimento 8% de cal, 48% de areia e 20% de água. Para o traço C foram empregados os seguintes elementos: 36% de cimento, 12% de cal, 32% de areia e 20% de água. A Tabela 14 resume estes traços.

As proporções de materiais empregados nos traços A, B e C de argamassa convencional, podem ser verificados na Tabela 14. Esses traços foram preparados para a realização de dosagens em volume, para facilitar os serviços em obra.

Tabela 14 - Corpos-de-prova preparados com o traço A, B e C.

Elementos	Traço A	Traço B	Traço C
Cimento	15%	24%	34%
Cal	5%	8%	12%
Areia Lavada	60%	48%	34%
Água	20%	20%	20%

A Tabela 15 apresenta as proporções de materiais empregados nos traços Ac, Bc e Cc conforme Tabela 3.6 para a argamassa incorporada com palha de casca de arroz, pode-se notar que ocorreu uma redução de 50% da areia lavada para um acréscimo de 50% para casca de arroz. Com esses traços é que foram preparadas as placas para realização dos ensaios.

Tabela 15 Corpos-de-prova preparados com o traço Ac, Bc e Cc

Elementos	Traço Ac	Traço Bc	Traço Cc
Cimento	15%	24%	34%
Cal	5%	8%	12%
Areia lavada	30%	24%	17%
Água	20%	20%	20%
Palha de Casca de Arroz	30%	24%	17%

A casca de arroz é um material não normatizado e ela entrou na composição de argamassa, substituindo parte do agregado miúdo. Esta substituição é de 50% em volume da quantidade total dos traços citados anteriormente (A, B, e C). Esses traços passaram a serem chamados de Ac (traço A + casca), Bc (traço B + casca) e Cc (traço C + casca). O compósito Ac apresentou os seguintes elementos: 15% de cimento Portland, 5% de cal hidratada para massa, 30% de casca de arroz, 30% de areia lavada média e 20% de água. Para o compósito Bc foram empregados os seguintes elementos: 24% de cimento Portland, 8% de cal hidratada para massa, 24% de casca de arroz, 24% de areia lavada média e 20% de água. Para o compósito Cc foram empregados os seguintes elementos: 36% de cimento Portland, 12% de cal hidratada para massa, 16% de casca de arroz, 16% de areia lavada média e 20% de água. A tabela 16 resume estes traços.

Tabela 16 A - Dosagens das argamassas, traços em massa corrigida de acordo com a equação 3.4.

Traço	Traço em Volume do Agregado Material (litros)	Traço em Massa Do Agregado Seco (Kg)	Materiais
A	$\frac{3}{4} \cdot \frac{1}{4} : 3$	0,75 : 0,11 : 2,343	C : Cal : AL : A
B	$\frac{3}{4} \cdot \frac{1}{4} : 1 \frac{1}{2}$	0,75 : 0,11 : 1,170	C : Cal : AL : A
C	$\frac{3}{4} \cdot \frac{1}{4} : \frac{2}{3}$	0,75 : 0,11 : 0,586	C : Cal : AL : A

Tabela 17 B - Dosagens das argamassas, traços em massa corrigida de acordo com a equação 3.4.

Ac	$\frac{3}{4} : \frac{1}{4} : \frac{3}{2} : \frac{3}{2}$	0,75 : 0,11 : 1,170 : 0,108	C : Cal : AL : P : A
Bc	$\frac{3}{4} : \frac{1}{4} : \frac{3}{4} : \frac{3}{4}$	0,75 : 0,11 : 0,585 : 0,054	C : Cal : AL : P : A
Cc	$\frac{3}{4} : \frac{1}{4} : \frac{1}{3} : \frac{1}{3}$	0,75 : 0,11 : 0,260 : 0,024	C : Cal : AL : P : A

C = Cimento; Cal = Cal Hidratada; AL = Areia Lavada;
A = Água; P = Palha da casca de arroz

Para garantir que ao se repetir às argamassas, estas sejam iguais, os traços foram convertidos em volume para o proporcional em massa e com agregado seco (areia e casca de arroz), através da expressão:

$$1 : \frac{V_p \delta_p}{\delta_c} : \frac{V_q \delta_q}{V_h/V_o \delta_c} \quad \text{Equação 3.4}$$

onde:

V_p → proporção de cal hidratada no traço da argamassa em volume aparente;

V_q → proporção do agregado miúdo no traço da argamassa em volume aparente;

δ_p → massa unitária da cal hidratada no estado solto (kg/dm^3);

δ_q → massa unitária do agregado no estado solto e seco (kg/dm^3);

δ_c → massa unitária do cimento no estado solto e seco (kg/dm^3);

V_h/V_o → coeficiente médio de inchamento dos agregados utilizados = 30%;

Unidade crítica dos agregados utilizados = 3%, de acordo com a NBR - 6467.

Exemplos:

V_h/V_c = Areia Lavada = 1:3

Massa unitária da areia lavada = 1,46

Massa unitária do cimento = 1,438

Massa unitária da cal = 0,64

1 - Traço A: (3/4 : 1/4 : 3) Traço em volume do agregado úmido , conversão para traço em massa do agregado seco de acordo com a equação 3.1:

$$\text{Cimento} - \frac{3/4 \times 1,438}{1,438} = 3/4 = 0,75$$

$$\text{Cal} - \frac{1/4 \times 0,64}{1,438} = 0,111$$

$$\text{Areia Lavada} - \frac{3 \times 1,46}{(1,438 \times 1,3)} = 2,343$$

2 - Traço B (3/4 : 1/4 : 1,5)

Cimento: 0,75

Cal: 0,111

$$\text{Areia: } \frac{1,5 \times 1,46}{(1,438 \times 1,3)} = 1,17$$

3 - Traço Ac (3/4 : 1/4 : 1,5 : 1,5)

Cimento: 0,75

Cal: 0,111

Areia: 1,17

$$\text{Palha Casca de Arroz: } \frac{1,5 \times 0,135}{(1,438 \times 1,3)} = 0,054$$

O consumo dos materiais por metro cúbico de argamassa fresca foi calculado de acordo com as expressões (3.5) a (3.9). A TABELA 3.9 mostra um resumo destes materiais por m³ de argamassa.

$$C_c = \frac{\gamma_{arg}}{1 + p + q + \frac{a}{c}} \quad (3.5)$$

$$C_p = p C_c \quad (3.6)$$

$$C_{agl} = C_c + C_p \quad (3.7)$$

$$C_q = q C_c \quad (3.8)$$

$$C_a = \frac{a}{c} C_c \quad (3.9)$$

Sendo:

Ca = consumo de água, em kg/m³ de argamassa;

Cagl = consumo de aglomerante, em kg/m³ de argamassa;

Cc = consumo de cimento, em kg/m³ de argamassa;

Cp = consumo de cal, em kg/m³ de argamassa;

Cq = consumo de agregado miúdo, em kg/m³ de argamassa;

p = proporção de cal hidratada no traço, em massa, da argamassa;

q = proporção do agregado miúdo no traço, em massa, da argamassa;

a/c = relação água/cimento, em massa, da argamassa no estado fresco, calculado por controle da dosagem da água.

γarg = massa específica da argamassa no estado fresco;

γc = massa específica do cimento, em kg/dm³;

γp = massa específica da cal, em kg/dm³;

γq = massa específica do agregado miúdo, em kg/dm³.

Tabela 18 - Consumo de materiais em Kg/m³ de argamassa fresca.

Traço	Cimento (Cc)	Cal (Cp)	Agregado Miúdo (AL)	Agregado Graúdo (C)	Água (litros)
A	669,4	261,3	1.374,6	-	133,8
B	963	376,2	989,4	-	197,9
C	1.273	497,3	653,9	-	254,6
Ac	669,4	261,3	687,7	63,59	133,8
Bc	963	376,2	494,7	45,70	197,9
Cc	1.273	497,3	327,0	30,20	254,6

$$C_c = \frac{\gamma_{arg}}{1 + p + q + \frac{a}{c}} \quad C_a = 200 \text{ kg}$$

Traço A:

$$C_c = \frac{2,12}{\frac{3/4}{1.438} + \frac{1/4}{0,64} + \frac{3}{1,46} + \frac{200}{1.000}} = 669,4 \text{ kg}$$

$$C_p = \frac{1/4}{0,64} \times 669,4 = 261,3 \text{ kg}$$

$$C_{agl} = 930$$

$$C_q = \frac{3}{1,46} \times 669 = 1.374,66 \text{ kg}$$

$$C_a = \frac{200}{1.000} \times 669 = 133,8 \text{ ℓ}$$

$$\frac{C_a}{C_c} = \frac{a}{c} = \frac{133,8}{669,4} = 0,1998 \approx 0,2$$

Traço B:

$$C_c = \frac{2,06}{\frac{3/4}{1.438} + \frac{1/4}{0,64} + \frac{1,5}{1,46} + \frac{200}{1.000}} = 963 \text{ kg}$$

$$C_p = \frac{1/4}{0,64} \times 963 = 376,2 \text{ kg}$$

$$C_{agl} = 1.339,2 \text{ kg}$$

$$C_q = \frac{1,5}{1,46} \times 963 = 989,38 \text{ kg}$$

$$C_a = 0,2 \times 989,38 = 197,88 \text{ ℓ}$$

$$\frac{C_a}{C_c} = \frac{a}{c} = 0,205 \approx 0,2$$

Traço C:

$$C_c = \frac{2,07}{\frac{3/4}{1,438} + \frac{1/4}{0,64} + \frac{0,75}{1,46} + \frac{200}{1.000}} = 1.273 \text{ kg}$$

$$C_p = \frac{1/4}{0,64} \times 1.273 = 497,3 \text{ kg}$$

$$C_{agl} = 1.273 + 497,3 = 1.770 \text{ kg}$$

$$C_q = \frac{0,75}{1,46} \times 1.273 = 653,9 \text{ kg}$$

$$C_a = 0,2 \times 1.273 = 254,6 \text{ l}$$

$$\frac{C_a}{C_c} = \frac{a}{c} = 0,2$$

3.2.1.5 - Preparo dos corpos-de-prova e placas

Para a realização do ensaio de compressão como mostra a Figura 19, foram utilizados 18 corpos-de-prova conforme descreve a norma NBR-5738(1994) sendo três corpos-de-prova para cada traço: A, B, C, Ac, Bc e Cc. Todos os corpos-de-prova foram confeccionados seguindo a metodologia da norma NBR-5738 (1994), formatos cilíndricos com altura de 30 cm e diâmetro de 15 cm, determinou-se o peso específico.

A Figura 19 tem-se um corpo de prova sendo rompido. Uma característica dos rompimentos é que tanto os corpos-de-prova cilíndricos, como os corpos de placa adicionadas à casca de arroz, apresentam as rupturas nas extremidades, e não em diagonal ao longo do corpo-de-prova, como é usual na teoria da elasticidade.



Figura 19 - Rompimento do corpo-de-prova com casca de arroz à compressão.

3.2.1.6 - Processo de cura das argamassas

O processo de cura para os corpos-de-prova ocorreu através da adaptação de uma câmara de vapor, essa câmara consistiu em um recipiente impermeável (lona de plástico de cor preta) com 6 m de comprimento, 2 m de largura e 40 cm de altura. Esse recipiente foi preenchido com uma lâmina de água com altura de 10 cm e fechado com a própria lona plástica. No topo foram colocados os corpos-de-prova assentados em estrado de madeira sobre a lona. Após sete dias foi retirado um corpo-de-prova de cada traço para realizar os ensaios físicos e mecânicos, posteriormente procedeu-se esses ensaios para os quatorze dias e vinte e oito dias.

Para as 18 placas com dimensões de 90 cm x 40 cm x 5 cm mostrado na Figura 20. Adotou-se a metodologia da norma NBR-8949 (1985), determinou-se o peso específico.

A Figura 20 mostra a confecção das placas de argamassa armada sendo identificadas. Mostra a lona preta onde se coloca a água. Com o fechamento da lona preta, forma-se uma câmara de vapor, utilizando a energia solar.



Figura 20 - Confecção de placas de argamassa armada.

A Figura 21 mostra o ensaio de compressão realizado nas placas de argamassa com casca de arroz.

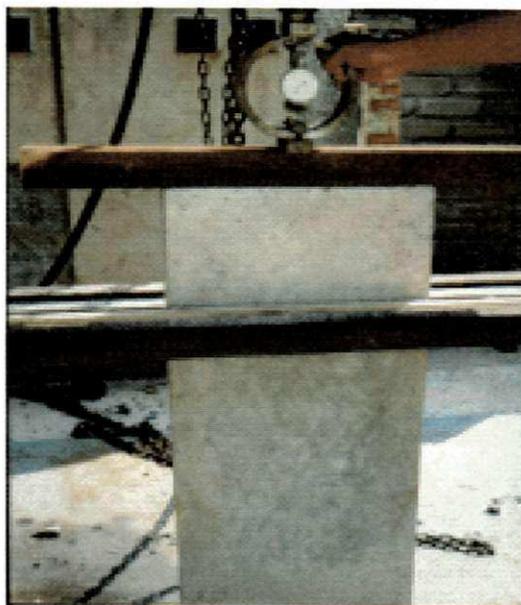


Figura 21 – Ensaio de rompimento a compressão da placa de argamassa com casca de arroz.

A Figura 22 mostra uma placa de argamassa armada com casca de arroz, com rompimento na extremidade.

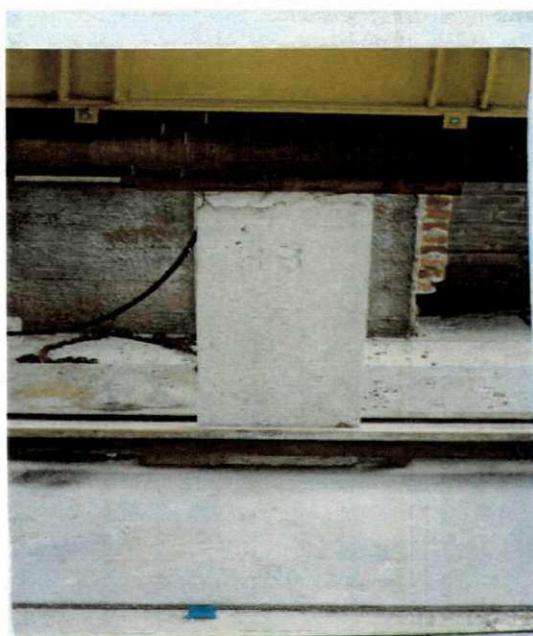


Figura 22 - Ensaio de rompimento à compressão da placa de argamassa armada com casca de arroz.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios nas placas com argamassa tradicional e argamassa especial. Também neste capítulo serão apresentados os resultados de alguns ensaios complementares realizados com a palha de arroz.

4.1 - CASCA DE ARROZ

4.1.1 – Absorção de água

Os resultados do ensaio de absorção de água realizados com a palha de arroz são apresentados na Tabela 19. Como pode ser visto nesta tabela, os valores medidos em 3 amostras variam de 157,70% a 151,40%. O valor médio é de 154,65%.

O valor médio da absorção de água pelas areias usadas no preparo de argamassas é da ordem de 30%. Esse valor é 5 vezes menor que o observado na palha de arroz. Outros materiais leves como a argila expandida tem absorção de água da ordem de 19%. Desta forma, a absorção de água da palha de arroz poderá causar variação no fator água/cimento da argamassa.

Tabela 19 - Absorção de água medida na amostra da casca de arroz.

Frasco	1	2	3
Casca (g)	103,91	107,57	113,46
Casca + Água (g)	267,85	274,07	285,24
Água absorvida (g)	163,94	166,50	171,78
Absorção de água (%)	157,70	154,78	151,40

Média Casca: 108,31g

Média Casca + Água: 275,72

4.1.2 – Massa Específica

As massas específicas para argamassas especiais formadas com a casca de arroz foram determinadas segundo a NBR-7190 (1997), e os resultados são apresentados na Tabela 20 a seguir. Os valores encontrados estão de acordo com os encontrados por

BERALDO, (1996). Como a diferença dos valores da massa específica das areias e da casca de arroz é grande, haverá uma variação da massa específica produzida com a casca de arroz. A redução produzida no valor da massa específica da argamassa é um dos pontos positivos deste compósito proposto. Pois a argamassa produzida com palha de casca de arroz, produz argamassas mais leves.

Por outro lado, materiais com grandes diferenças na massa específica tende-se a separar durante a mistura. Este processo é conhecido como segregação. A segregação é o maior desafio para o preparo de concretos com agregados leves, como a argila expandida, o E. P. S. e casca de arroz.

Tabela 20 – Massas específicas aparente e saturada da palha de arroz.

Frascos	Tara (gramas)	Volume da casca de arroz (ml)	Frasco casca de arroz	+Frasco de casca de arroz + água	+Massa específica aparente (g/cm^3)
1	91,49	800	195,40	359,34	0,129
2	92,65	800	200,22	366,72	0,134
3	92,80	800	206,26	378,04	0,141
Somatório	276,94	2400	601,88	1104,1	0,404
Média	92,31	800	200,63	368,03	0,135

4.2 – EXPANSIBILIDADE

A expansibilidade foi determinada através da expansão livre da casca de arroz e da argamassa especial. A

Tabela 21 apresenta os resultados da variação volumétrica de retração para os dois materiais nas três primeiras horas. Em seguida observou-se a inversão do fenômeno de retração para expansão. A Figura 23 mostra o processo de variação de volume da casca de arroz ao longo do tempo.

Esse resultado é considerado um dado importante para as argamassas, pois essa retração e posterior expansão vão gerar uma série de tensões internas no compósito, o que pode intervir na resistência futura do material. Este ensaio mostrou também que a maior variação dimensional de expansão foi durante o intervalo de tempo entre 8 e 48 horas, período este onde a pega esta em plena realização.

Tabela 21 - Resultados da expansibilidade.

Tempo (Horas)	Casca de Arroz		Argamassa com casca	
	(variação volumétrica em microns)	(variação em microns)	(variação volumétrica em microns)	(variação em microns)
0	1,40	0	-2	0
0,30	1,35	-5	-1	+1
1	1,32	-8	-1	+1
2	1,32	-8	-1	+1
3	1,34	-6	-1	+1
4	1,41	+1	+6	+8
8	1,58	+18	+10	+12
18	1,92	+52	+17	+19
25	1,85	+45	+24	+26
48	1,72	+32	+24	+26
72	1,58	+18	+08	+10
96	1,58	+18	+04	+6
108	1,58	+18	+03	+5
120	1,58	+18	+02	+4
136	1,58	+18	+02	+4

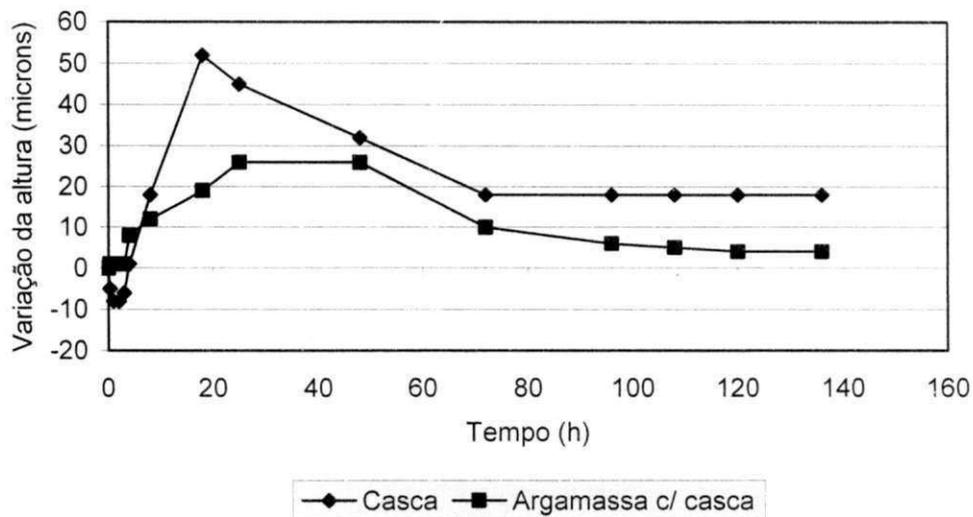


Figura 23 - Gráfico dos Resultados do Ensaio de Expansibilidade para a Casca de Arroz e Argamassa com Casca de Arroz.

Analisando a Figura 23 verificou-se que a palha de arroz tem uma brusca retração nas duas primeiras horas de teste, seguida de uma grande expansão até às 18h quando atinge o pico máximo da expansão. Após 18h de ensaio começa a retração da expansão, atingindo um patamar de estabilização do processo expansivo após 72h.

Quanto à argamassa com palha de casca de arroz, tem-se praticamente uma estabilidade dimensional nas 3 primeiras horas de teste. A partir daí segue-se uma

expansão de 0,025% até às 24h, havendo praticamente um patamar seguido de uma retração mais branda, atingindo a estabilização do processo expansivo após 96h.

Pode-se concluir que a retração brusca da casca de arroz se dá devido ao espaço “tubetes” das fibras vegetais estarem vazios, e devido a atração da celulose pela água, esta passa a absorver a água até a saturação dos tubetes, quando tem-se a expansão das fibras na tentativa de maior absorção de água, para desenvolver seus processos biológicos. Com a palha totalmente encharcada, passa-se a retrair devido ao peso próprio do material e preenchimento de vazios e ao fenômeno da histerese.

Já na argamassa com a palha de arroz, o processo é diferente devido à presença de outros materiais como cimento, cal hidratada e areia lavada, que quando entram em contato com a água, começam a formação de íons livres, sendo que o cimento e a cal hidratada irão formar gel, e a areia tende a se distribuir pelo gel. Já a avidez da palha de arroz pela água, passa a ser controlada pela reação da celulose com a cal hidratada. Assim sendo, tem-se uma expansibilidade mais lenta e sem picos de máximo ou mínimo.

Para a argamassa com casca de arroz, tem-se uma expansão expressiva durante as primeiras 24 às 40h. Esta expansão gera tensões inter-grãos interna na argamassa.

Como a celulose é uma β -glucose e a glucose é um aditivo retardador de pega. Conforme a Figura 16, pode-se supor que existe uma compensação entre as tensões de expansão intergrãos e o tempo de retardo de pega, de tal forma que a expansão se processa em argamassa fluida, diminuindo a ação geradora de tensões devido à variação de volume. Os tempos de fim de pega e início de endurecimento da argamassa são compatíveis com o fim da ação retardadora do aditivo.

Baseado nos traços apresentados anteriormente foi possível uma realização dos ensaios de massa específica e de resistência à compressão desses materiais. Os resultados estão apresentados nas Tabela 22 e Tabela 23, sendo possível verificar a variação das mesmas em função da variação das proporções dos componentes da argamassa.

Foram adotados para tal, os procedimentos constantes da NBR-5738 (1994) - Moldagem e Cura de Corpos-de-prova Cilíndricos, NBR-5739 (1985) - Ensaios de Corpos-de-prova Cilíndricos e Prismáticos, NBR-8949 (1985) - Paredes de Alvenaria Estrutural Ensaio a Compressão Simples, conforme indicado no capítulo 3.

Na Tabela 22 apresenta os resultados de resistência à compressão simples das argamassas.

As argamassas convencionais tiveram sua resistência em 28 dias, variando entre 10,35 e 11,20 MPa. As argamassas com palha de arroz tiveram sua resistência em 28 dias variando entre 5,31 e 5,69 MPa. A perda de resistência pelo acréscimo é de aproximadamente 49%.

Tabela 22 - Resultados dos ensaios de compressão nos corpos-de-prova cilíndrico nos traços A, B, C, Ac, Bc e Cc.

Corpos-de-Prova	Resistência A (MPa)	Resistência B (MPa)	Resistência C (MPa)	Resistência Ac (MPa)	Resistência Bc (MPa)	Resistência Cc (MPa)
Aos Sete Dias						
CP ₁	7,51	7,22	8,20	4,33	0,87	0,87
CP ₂	7,50	7,27	8,20	4,39	4,43	4,27
CP ₃	7,47	7,26	8,30	4,47	4,42	4,35
MÉDIA	7,49	7,25	8,23	4,40	3,24	3,16
Aos Quatorze Dias						
CP ₄	8,68	9,15	10,86	5,08	5,32	5,66
CP ₅	8,67	9,20	10,88	5,02	5,39	5,59
CP ₆	8,71	9,19	10,82	4,99	5,43	5,72
MÉDIA	8,69	9,18	10,85	5,03	5,38	5,66
Aos Vinte e Oito Dias						
CP ₇	10,40	10,69	11,15	5,26	5,37	5,55
CP ₈	10,36	10,72	11,19	5,32	5,28	5,80
CP ₉	10,30	10,64	11,26	5,35	5,35	5,73
MÉDIA	10,35	10,68	11,20	5,31	5,33	5,69

Verifica-se também a evolução da resistência dos corpos-de-prova ao longo do tempo. Como pode ser observado na Figura 24. Nesta figura, a resistência cresce mais rapidamente que nas argamassas convencionais. Para um período de 28 dias, observa-se também que a tendência das argamassas convencionais será ter sua resistência continuando

a crescer. Entretanto, as argamassas com casca de arroz apresentam sua resistência estabilizada por volta de 14 dias.

As perdas de resistência obtidas nas argamassas com casca de arroz, devem ser atribuídas à baixa resistência mecânica da casca de arroz, e ao acréscimo de ar incorporado à argamassa.

A Figura 24 mostra a evolução do material nos corpos-de-prova cilíndricos. Pode-se concluir que os corpos-de-prova de argamassa aditivada com palha de casca de arroz apresentam resistências bem menores que as do corpo-de-prova sem a casca de arroz, cerca de 49% menor.

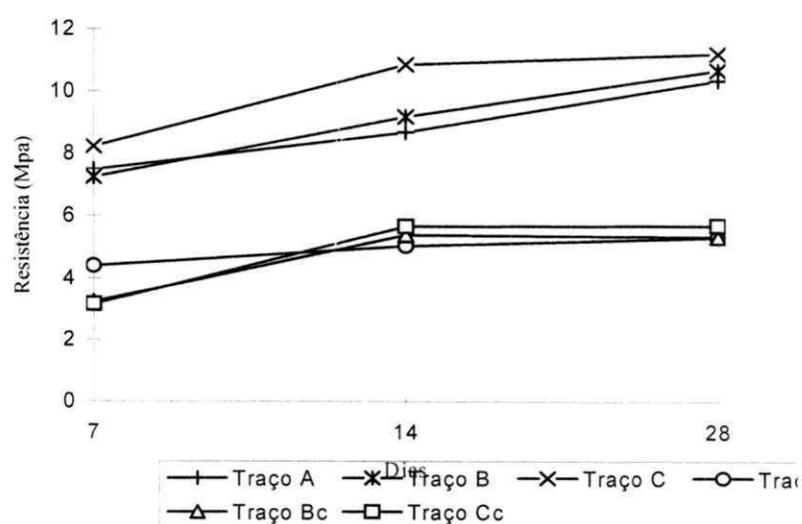


Figura 24 - Evolução da Resistência ao longo do tempo para Corpo de Prova Cilíndrico.

A Tabela 23, apresenta os resultados de resistência à compressão simples das placas de argamassa armada de 90 cm x 40 cm x 5 cm.

As argamassas convencionais tiveram as variações crescentes em proporção ao aumento de cimento. Observou-se queda de resistência dos traços C e Cc. Estes traços apresentam a mais alta quantidade de cimento do objeto da pesquisa. Supõe-se que existe interferência da cal hidratada neste período de 14 dias. Uma vez que a resistência a 28 dias para os traços B e C apresentam a diferença de 1,30%, que é muito pequeno em relação da diferença de cimento aplicado em cada traço.

Paralelamente, as argamassas com casca de arroz, apresentaram um crescimento de resistência no tempo de 28 dias. A argamassa do traço Cc apresentou queda de resistência

de 4,90% em relação ao traço Bc, apesar de apresentar mais cimento no seu traço e menos casca de arroz.

O que chama a atenção é a interferência da armadura com relação à resistência, os corpos-de-prova cilíndricos (sem armadura) a diferença da resistência à compressão entre os traços de argamassa padrão e de argamassa com casca de arroz, atingiu o patamar de 50%, conforme Tabela 22. Os corpos-de-prova com argamassa armada com e sem casca de arroz. A diferença da resistência à compressão não passou de 13,0%. O que vem viabilizar ainda mais o uso da casca de arroz em painéis armados.

Tabela 23 - Resultados dos ensaios de compressão nos corpos-de-prova de 90 cm x 40 cm x 5 cm (placas) nos traços A, B, C, Ac, Bc e Cc.

Corpos-de-Prova	Resistência A (MPa)	Resistência B (Mpa)	Resistência C (MPa)	Resistência Ac (MPa)	Resistência Bc (MPa)	Resistência Cc (MPa)
Aos Sete Dias						
CP ₁	4,72	9,18	9,18	4,08	8,16	8,16
CP ₂	4,77	9,24	9,30	4,21	8,23	8,24
CP ₃	4,67	9,17	9,24	4,19	8,27	8,19
MÉDIA	4,72	9,20	9,24	4,16	8,22	8,20
Aos Quatorze Dias						
CP ₄	4,39	7,53	7,60	4,08	7,47	7,24
CP ₅	4,46	7,66	7,58	4,20	7,28	7,27
CP ₆	4,38	7,75	7,55	4,09	7,51	7,23
MÉDIA	4,41	7,64	7,58	4,13	7,42	7,25
Aos Vinte e Oito Dias						
CP ₇	5,38	9,08	9,18	4,23	8,67	8,32
CP ₈	5,39	9,13	9,25	4,23	8,78	8,36
CP ₉	5,30	9,10	9,22	4,25	8,70	8,26
MÉDIA	5,36	9,10	9,22	4,24	8,72	8,31

Na Tabela 23 pode-se observar um aumento na resistência em relação ao aumento da quantidade de cimento, mas, em relação ao tempo de cura essa resistência não variou de forma crescente. Para os compósitos isso também foi observado, porém sua resistência reduziu em relação à do traço padrão, ela apresentou uma pequena variação durante o período de cura, com isso fica indicado a sua disponibilidade de uso a partir dos vinte e oito dias.

A Figura 25 mostra que os traços A e Ac são praticamente constantes e com baixa resistência, já os outros, apresentam pequenas variações, para 14 dias, permitindo uso após 28 dias. Mostra também um comportamento paralelo entre as duas argamassas. O que quer dizer que a casca de arroz como agregado, está compatibilizada com os outros materiais da argamassa.

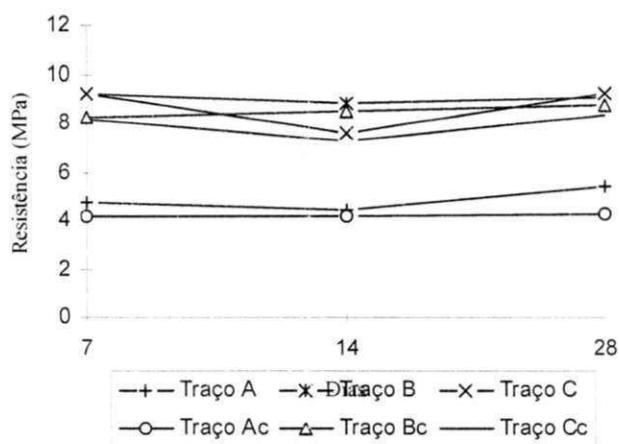


Figura 25 - Evolução da Resistência ao longo do tempo para placas de argamassa armada.

A Tabela 24 foi obtida através de resultados de massas específicas nos corpos-de-prova durante os 28 dias de ensaio. Como era de se esperar, as massas específicas diminuíram com o aumento da casca de arroz no traço. Entre o traço Ac e Bc, a redução da casca de arroz foi de 39,10% em peso e a variação da massa específica foi inexpressiva para 28 dias. Entre os traços Bc e Cc, a redução de palha de casca de arroz foi de 48,70% em peso. Já sua redução de massa específica foi de 8,60% para 28 dias.

Tabela 24 - Resultados das massas específicas nos corpos-de-prova cilíndrico nos traços A, B, C, Ac, Bc e Cc.

Corpos-de-Prova	M. espec. A (g/cm ³)	M. espec. B (g/cm ³)	M. espec. C (g/cm ³)	M. espec. Ac (g/cm ³)	M. espec. Bc (g/cm ³)	M. espec. Cc (g/cm ³)
Aos Sete Dias						
CP ₁	2,04	2,06	2,06	1,77	1,79	1,90
CP ₂	2,03	2,05	2,03	1,69	1,76	1,92
CP ₃	2,24	2,04	2,08	1,72	1,82	1,89
Aos Quatorze Dias						
CP ₄	2,01	2,02	2,05	1,60	1,62	1,71
CP ₅	2,00	2,04	2,04	1,58	1,59	1,73
CP ₆	1,98	1,99	2,07	1,59	1,64	1,70
Aos Vinte e Oito Dias						
CP ₇	1,99	2,01	2,03	1,52	1,51	1,62
CP ₈	1,97	2,00	2,04	1,53	1,50	1,65
CP ₉	2,00	1,99	2,00	1,52	1,52	1,64

Na Tabela 24 pode-se observar uma constância na propriedade massa específica em relação aos corpos-de-prova de argamassa padrão. Para os compósitos isso não foi observado, porém sua densidade decresceu à medida que aumentou o tempo de cura e a porcentagem de palha de arroz.

A Figura 26, mostra a variação das massas específicas nos traços ensaiados, ao longo de 28 dias. Observou-se que, as massas específicas das argamassas sem incorporação de palha de casca de arroz são praticamente constantes. Para as argamassas incorporação com a palha de casca de arroz, observa-se uma redução na massa específica ao longo do tempo.

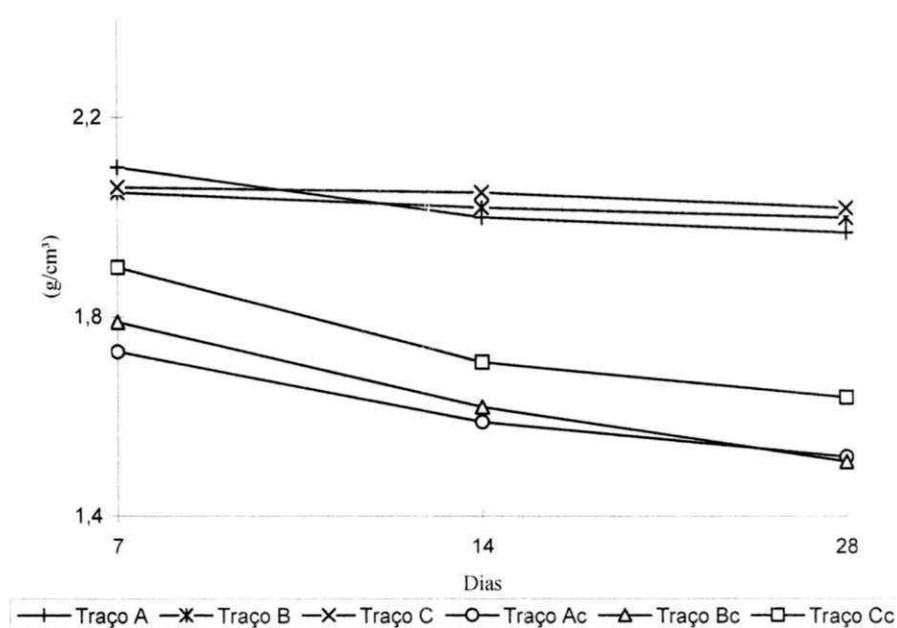


Figura 26 - Evolução da massa específica para corpos-de-prova cilíndricos.

A redução da massa específica para os corpos-de-prova “aditivados” se dá devido à perda de água da casca de arroz para o ambiente. Na Tabela 25, mostra os resultados das massas específicas na placa de argamassa armada. Pela observação, verifica-se uma constância na argamassa armada padrão. Nos corpos-de-prova com argamassa aditivada com casca de arroz, observou-se uma redução de mais ou menos 13,0% na massa específica, para os traços Ac e Bc, entre os 28 dias. O traço Cc apresentou uma redução próxima de 9,0%.

Tabela 25 - Resultados das massas específicas nos corpos-de-prova de 90 cm x 40 cm x 5 cm com tela de estuque nos traços A, B, C, Ac, Bc e Cc.

Corpos-de-Prova	M. espec. A (g/cm ³)	M. espec. B (g/cm ³)	M. espec. C (g/cm ³)	M. espec. Ac (g/cm ³)	M. espec. Bc (g/cm ³)	M. espec. Cc (g/cm ³)
Aos Sete Dias						
CP ₁	2,05	2,08	2,07	2,27	2,09	2,17
CP ₂	2,04	2,06	2,05	2,24	2,05	2,18
CP ₃	2,26	2,05	2,10	2,17	2,02	2,15
Aos Quatorze Dias						
CP ₄	2,03	2,04	2,07	2,11	1,96	2,08
CP ₅	2,02	2,06	2,06	2,17	1,98	2,10
CP ₆	2,00	2,01	2,09	2,13	1,93	2,09
Aos Vinte e Oito Dias						
CP ₇	2,01	2,03	2,06	1,93	1,80	1,98
CP ₈	1,99	2,04	2,08	1,94	1,79	1,97
CP ₉	2,03	2,01	2,04	1,92	1,76	1,96

Na Tabela 25 pode-se observar uma constância na propriedade massa específica em relação aos corpos-de-prova na forma de placa. Para os compósitos isso não foi observado, porém, sua densidade decresceu à medida que aumentou o tempo de cura.

Supõe-se que a diferença de variação de percentagem da massa específica entre os traços (Ac e Bc) e Cc seja devido ao fato do corpo-de-prova com o traço Cc, apresentar uma grande quantidade de cimento (34,0%). E, neste caso, o traço Cc sofre pouca interferência da ação da baixa massa específica da casca de arroz e a relação com o cimento.

Após a caracterização dos corpos-de-prova essas placas com argamassa especial foram postas em prática sendo feitas algumas peças de residências, isso pode ser observado na Figura 31 e Figura 32, para construção de painéis de fechamento vertical.

A Figura 27 é a variação entre as diversas massas específicas para as placas de argamassa armada. Com relação a Figura 26 e a Figura 27 tem-se diferenças, pois trata-se de corpo de prova de argamassa em forma cilíndrica (Ø 15cm x 30cm) e corpo de prova com armadura (tela de estuque) em forma de placa (90cm x 40cm x 5cm), esta diferença ocorre devido a alta massa específica da armadura.

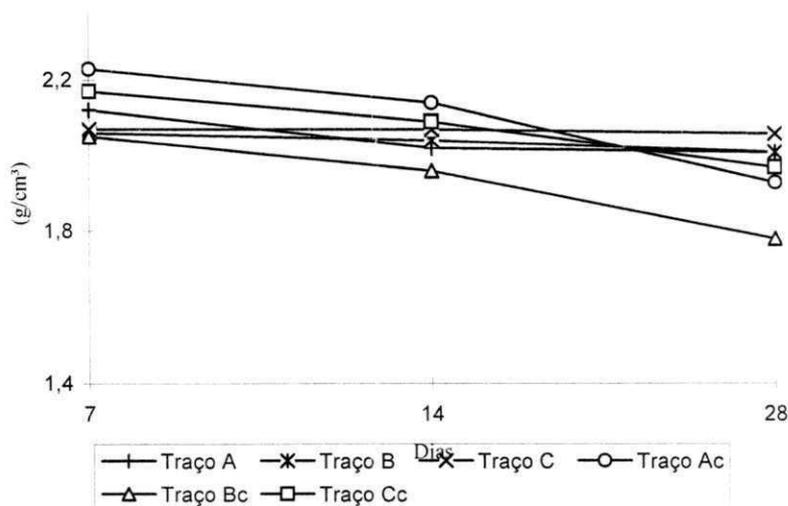


Figura 27 - Evolução da massa específica para placas de argamassa armada com tela de estuque.

4.3 - SEGREGAÇÃO

A segregação é um processo que ocorre com agregados com diferenças de massas específicas elevadas. Nestes testes, a massa específica da areia lavada é de $1,46 \text{ kg/dm}^3$ e a da casca de arroz é de $0,135 \text{ kg/dm}^3$. Existe uma tendência natural de separar a casca de arroz dos outros materiais, durante o período de mistura e lançamento da argamassa. Isso não ocorreu, tanto para os corpos-de-prova cilíndricos, como também para as placas armadas de $90 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$.

Este fenômeno de não se ter à segregação, supõe-se ocorrer devido à ação da cal hidratada sobre a celulose em meio aquoso. Uma vez que existe a formação de um gel de cal hidratada com celulose, que somado com o gel do cimento e aglomerados, acredita-se que sejam missíveis e permita uma perfeita aglutinação do agregado pesado com o agregado leve.

Tal fato promove a aceleração de pega e inibe o tempo da reação de carbonatação do cimento, com a celulose no período de pega. A reação celulose-cal (carbonatação), fica para o período de endurecimento.

Desta forma, a cal hidratada que foi colocada como aglutinante na argamassa, tem funções importantes:

1. amolecer as fibras da palha da casca do arroz e assim, facilitar a interação com os outros componentes da argamassa;
2. promover a separação química das substâncias da palha da casca de arroz;
3. promover a carbonatação da celulose que melhora as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos e é controlada pela difusão do CO₂ na mistura.

A Figura 28, a Figura 29 e a Figura 30, mostram que não houve segregação entre os agregados.

A Figura 28 trata-se do corpo-de-prova rompido, com traço Bc onde, os pontos amarelos estão nitidamente caracterizando a distribuição da palha da casca de arroz no interior da argamassa.



Figura 28 - Corpo-de-prova rompido, traço Bc.

A Figura 29 mostra um corpo-de-prova serrado, com traço Cc onde, nos pontos amarelos temos a palha da casca de arroz. Apresenta uma diferença da Figura 28, pois, no rompimento a palha da casca de arroz aparece por inteiro e na Figura 29 ela é cortada.



Figura 29 - Corpo-de-prova cortado, traço Cc.

A Figura 30 mostra os corpos-de-prova Bc rompido, ao lado do corpo-de-prova cortado, e o corpo-de-prova inteiro apresenta traço Ac.



Figura 30 - Corpos-de-prova inteiro (Ac); rompido (Bc) e cortado (Cc).

A Figura 31 e a Figura 32, mostram a aplicação de placas de argamassa armada já em obra definitiva. Na Figura 31, as placas estão assentadas sem cobertura a mais de 1 ano, sofrendo toda ação das intempéries e não apresentou problemas de envelhecimento precoce. Na Figura 32, tem-se um cômodo já construído com placa de argamassa com palha da casca de arroz. Este cômodo apresenta uma diferença de temperatura sensível quando comparado com alvenaria convencional a 5,0 m de distância.



Figura 31 - Sistema construtivo empregando as placas com argamassa especial.

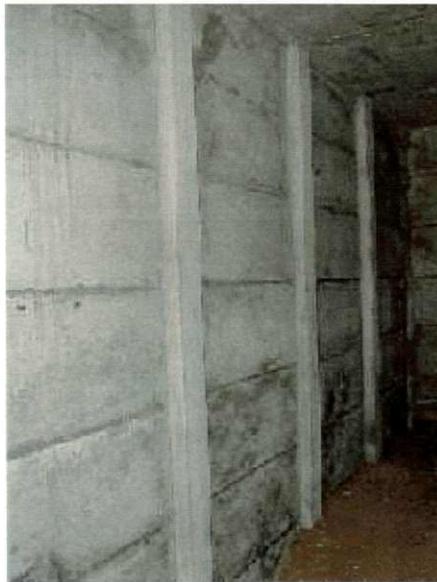


Figura 32 - Paineis de fechamento vertical com placas de argamassa especial.

5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 - CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente trabalho proporcionou as seguintes conclusões:

- os compósitos em formas de placas conduziram a um resultado que beneficiou o emprego dessas peças em painéis de fechamento vertical;
- a resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos com adição de palha de casca de arroz, sofreu uma redução de $\pm 40,0\%$ em relação às argamassas convencionais;
- a resistência à compressão de placas armadas sofreu uma redução de $\pm 10,0\%$ em relação à argamassa convencional;
- a evolução da resistência ao longo do tempo não sofre alterações expressivas, e até melhoram;
- não se observou problema relativo à segregação nos corpos-de-prova tanto cilíndricos, quanto placas de argamassa armada.

5.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- conforto térmico e acústico;
- dosagem experimental de traços otimizados;
- peças de variadas formas e tamanhos;
- levantamento de custos comparativos com processos usuais de construção;
- levantamento da ação das armaduras nas placas.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A. K. – **Tecnologias apropriadas. Tijolos e paredes de solo cimento.** São Paulo. Escola Politécnica da USP. Dissertação de Mestrado. 1980.

ABRAMS, C. – **Habitação, desenvolvimento e urbanização.** Rio de Janeiro. Edições “O Cruzeiro”. 1967.

AKERS, S. A. S. *et al.* **Long term durability of PVA reinforced fibres in a cement matrix.** In : J. Cement Composites and Lightweight Concrete, v. 11, p. 79-91.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C – 1142-92. Standard specification for ready – mixed mortar for unit masonry.** Philadelphly, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7175 – 92. Cal hidratada para argamassas.** Rio de Janeiro, 1991.

- **NBR-7200. Revestimentos de paredes e tetos com argamassas: materiais, preparo, aplicação e manutenção.** Rio de Janeiro. 1982

- **NBR-7220. Agregados – Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo.** Rio de Janeiro, ABNT.

- **NBR-7211. Agregado para concreto.** Rio de Janeiro, ABNT – 1986.

_____ **NBR-7174. Pedra britada, pedrisco e pó-de-pedra para base de macadame hidráulico.** Rio de Janeiro, 1982. 7 p.

_____ **NBR-9935 Agregados.** Rio de Janeiro, 1987, p. 11.

ÁVALOS, M. S. **Apostilas de Aula.** FAET/UFMT. Cuiabá, 2002.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** Volume 1 (435p) e 2 (436-935p), 5ª edição. 1995.

BERALDO, A. L. **Biocreto, concreto orgânico com restos agrícolas.** Revista Globo Rural. Setembro 1996.

BERALDO, A. L. **Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment a variations dimensionnelles limitées vis à vis des variations de l'humidité.** Nancy : Université de Nancy I, 1994. 223 p. Thèse (Docteur en Sciences du Bois). Université de Nancy I, 1994.

BERGER, R. L.; YOUNG, J. F. e LEUNG, K. **Acceleration of hydratation of calcium silicate by carbon dioxyde treatment.** Natural Physical Science, v. 240, n. 97, p. 16- 18. 1972.

BIBLIS, E. J. & I.O, C. **Effect on the setting of southern pine-cement mixtures.** Forest Products Journal , Alabama, v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.

BOLAFFI, G. A. **A casa das ilusões perdidas; aspectos econômicos.** Cadernos. Cebrap. São Paulo. n. 27 1977.

Boletim Habitacional. **Diagnósticos da situação habitacional em São Paulo.** Prefeitura Municipal Secretaria do Bem Estar. São Paulo. 1974.

BOTTIN, C. **Autoconstrução.** FAU. Trabalho de Graduação Interdisciplinar. São Paulo. 1976.

BOYNTON, R. S. **Aderência de argamassas a elementos de alvenaria – fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência. Tradução IPT – ABCP. Notas Técnicas n. 3** sobre argamassa de assentamento de componentes de alvenaria, da National Lime Association, 1964.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1983.

CINCOTTO, M. A. **Argamassa de Revestimento Características, propriedades e métodos de ensaio.** Instituto de Pesquisas do Estado de São Paulo – IPT. São Paulo. (Publicações IPT 2378). 1995.

CINCOTTO, M. A. Estudo das cales em alguns Estados do Brasil: São Paulo: ABPC, 1980, p. 95-120 (Boletim 11).

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas.** São Paulo, Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 1985.

CODETEC–UNICAMP. **Considerações sobre tecnologia apropriada,** Edição da Gráfica da Universidade de Campinas. 1979.

COPELAND, R. E.; SAXER, E. L. **Test of structural bond of masonry mortars to concrete block.** Journal of the American Concrete Institute. Proceedings, v. 61, n.11, nov. p. 1411-1452. 1964.

COSTA, J. S. **Estudo de argamassas para revestimentos argamassados com utilização de materiais da região cuiabana.** Universidade Federal de São Carlos. Dissertação de Mestrado. 2000.

COUTTS, B. Wood fiber inorganic composites. The Australian scene 1970's - 1990's: **In: Inorganic bonded wood and fiber composite materials conference.** v 3, p. 26- 27. 1992.

COUTTS, R. S. P. Wood fibre reinforced cement composites. **In: Concrete Technology and Design,** v. 5, p. 1-62. 1989.

DARROW, K. e PAM, R. **Appropriate technology –** Volunteers in Asia Publicaton. 1976.

- DINIZ, A. J. A. **Tecnologia, poder e relações internacionais**. Revista Brasileira de Tecnologia . Brasília 3 maio 1983.
- ELIAS, M. **Tecnologias alternativas: solução para a crise habitacional?** I Simpósio Internacional sobre produção de transferência de tecnologia em habitação: da pesquisa à prática. São Paulo. Anais vol II. 1987.
- FORDOS, Z. Natural or modified cellulose fibres as reinforcement in cement composites. **In: Concrete Technology and Design**, v. 5, p. 173-207. 1989.
- GOMES, S. **O povo na história. Discurso Pronunciado no Senado Federal**, Brasília 14 de março de 1983.
- GRAM, H. E. **Durability of natural fibres in concrete**. Swedish, Sweden. 1983.
- GRAM, H. E. **Fibre concrete roofing**. Swiss Centre for Appropriate Technology, Switzerland. 1986.
- GRAM, H. E. et al. Natural fibre concrete. **In: Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries**, Sweden. 1984.
- GRANDI, L. A. C. **Placas Pré Moldadas de Argamassa de cimento e pó de serra**. São Paulo, Faculdade de Engenharia Agrícola. Unicamp. Tese de Doutorado. 1995.
- HANAI, J. B. **Construções de argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução**. São Paulo Ed. Pini. 1992.
- HARIMA, E. & SOUZA, M. F. **Estabilização da fase beta e obtenção da fase alfa da cristobalita a partir do resíduo da casca de arroz**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 12. Anais. São Paulo: Abc/Abm/Abpol, 1996.
- JEQUIER, N. **Appropriate technology. Paris Development Centre of Organization for Economic. Co-Operation and Development** .1976.
- KAMPH, L. **Workability of masonry mortars**. Materials. Research & Standards. Easton. 1(1): 7-8, Jan. 1961.
- KLOCK, U.. 2004. Nota de Aula. Química da Madeira, Curso de Engenharia Industrial Madeireira. UFPR.
- LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. Microstructure of the interface between brick and mortar. **In: INTERNATIONAL BRICK AND BLOCK MASONRY CONFERENCE**, 8th ,Dublin, Sept. 19-21, 1988. Proceedings. London, Elsevier, v. 1, p. 194-204. 1988.
- MAMMANA, C. Z. **A tradução matemática da tecnologia, fatos de dominação**. Revista Brasileira de Tecnologia. Brasília, 3 out./nov. 1982.

MARINHO, L. C. O. **O conhecimento tecnológico, fato de dominação.** Revista Brasileira de Tecnologia. Brasília, 3 out./nov. 1982.

MEDEIROS, E. G. **Estudo da fabricação de cimento com casca de arroz.** Estágio Supervisionado. Universidade Federal de Campina Grande, p. 58. 1987.

MENDES, F. S. Grande Manual Globo de Agricultura, Pecuária e Receituário Industrial. Arroz. v. 2, p. 21-35. 1983.

MELLO, S. S. A. **Estudo da compressão simples em corpos de prova de solo-cimento e solo-cimento-serragem.** Dissertação de mestrado, USP - São Carlos. 1991.

MORRISON, R.; BOYD, R. **Química Orgânica.**

MOSLEMY, A. A. **Particleboard.** Illinois. Southern Illinois University Press, v. 1, 1974.

MOSLEMY, A. A.; GARCIA, J. F. e HOFSTRAND, A. D. **Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement-water systems.** Wood and Fiber Science. v. 15, n. 2, p. 164-176, 1983.

MWAMILA, B. L. M. **Low modulus reinforcement of concrete.** Swedish Council for Building Research, Sweden. 1984.

NAKATA, Y.; SUZUKI, M.; OKUTANI, T. **Preparation and properties of SiO₂ from rice hulls.** Nippon Seramikkusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi, 97 (8), p.842-9. 1989.

PARANESE, W. C., Kosmatka, S. H. RANDALL JR, F. A. **Concrete Masonry Handbook for Architects, Engineers and Builders.** 5 Ed. 1983.

PARKER, T. W. **Foamed Blastfurnace Slag.** Journal of the Iron and Steel Institute. (1937).

PETRUCCI, E. G. **Concreto de Cimento Portland.** Editora GLOBO. Porto Alegre, 1978.

PETRUCCI, E. G. **Materiais de construção.** Editora GLOBO. Porto Alegre, 1975. 435p.

RENSBURG, J. J. J. **Factors influencing the bond strength between calcium silicate bricks and mortar.** Pretoria, COUNCIL FOR SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH, 1978 (CSIR research report 340).

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES DÉSSAIS ET MATÉRIAUX **RILEM Recommendations MR 1-21: Testing methods on mortars and renderings,** Paris, France. RILEM. (1982).

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES DÉSSAIS ET MATÉRIAUX **Use of vegetable plants and their fibres as building materials.** Joint Symposium. Baghdad. 1986.

RIBAR, J. W.; DUBOVOY, V. S. **Investigation of masonry bond and surface profile of**

brick. In: H. A. HARRIS, ed. *Masonry: materials, design, construction, and maintenance*, American Society For Testing Materials, 1988. p. 33-37 (**ASTM Special Technical Publication, 1992**).

ROWELL, et al. Opportunities for composites from recycled wastewood-based resources: a problem analysis and research plan. *Forest Products Journal*, v. 43, n. 1, p. 55-63, 1993.

SABBATINI, F. H. **Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986. 26 p. (Boletim técnico n. 2).

SCHUMACHER, E. F. **Small is Beautiful**, London , Abacus, 1977.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios.** São Paulo, 1989. (Dissertação de Mestrado. EPUSP).

SERRA, A. **Revista Tecne.** 1996.

SHORT, A. y KINNIBURGH, W. **Concreto Ligero** - Calculo, fabricacion diseño y aplicaciones. 1967.

SHREVE, N. R.; BRINK Jr. J. A. **Indústrias de processos químicos.**

SIMATUPANG, M. H. **Degradations of glucose, cellobiose, and wood under the influence of Portland cement paste.** *Holzforschung*, v. 40 n. 3, p. 149-155, 1986.

SIMATUPANG, M. H. e LANGE, H. Influence of wood species on the setting of cement and gypsum. In: *International Congres on fiber and particleboard bonded with the inorganic binders*, v. 1, p. 33-42, 1988.

SOLOMONS T. W. G. **Química Orgânica 2.**

SOUZA, M. F. **Formação de mulita a partir de rejeitos industriais.** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 12. Anais. São Paulo : Abc/Abm/Abpol, 1996.

SWAMY, R. N. A false dream or a potencial reality? In: *International RILEM Symposium on Vegetable Plants and Their Fibres as Building Materials*, 2, 1990, Salvador. H. S. Sobral, p. 3-8. 370 p. 1990.

SWAMY, R. N. **Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete.** *Concrete Technology and Design*. Glasgow: Blackie and Sons, 1988b. v. 5. 1988.

SWAMY, R. N. **New Reinforced Concretes.** *Concrete Technology and Design*. Glasgow: Blackie and Sons, 1984a, v. 2. 1984.

SWAMY, R. N. et al. **Developments in Fibre Reinforced Cement and Concrete**, v. 1/2. 1986.

TEIXEIRA JR, A. S. **Pesquisa: Inovação e produção.** Informativo. Simemo/Abimo. São Paulo, março 1981.

VALENZUELA, W. A. **Contribution à la détermination de l'aptitude d'essences forestières pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment.** Gembloux (Belgique), Faculté des Sciences Agronomiques, 1989. 229 p. These (Docteur en Sciences Agronomiques). Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 1989.

VENUAT, MICHEL. **Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones.** Barcelona, ETA, 1972.

VERAS, M. P. B. **Os impasses da crise habitacional em São Paulo.** Mar. 1988.

VERAS, M. P. B. e BONDUKI, N. Política habitacional e luta pelo direito à habitação **In: COVRE, M.** (org) – A cidadania que não temos. São Paulo. Ed. Brasiliense. 1986.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar.** Editora Pini.. 628p. 1998.